系统动力学在企业经营仿真中的应用

谢英亮　刘勤蓝　江　华　著

ISBN 978-7-5024-6084-6

9 787502 460846 >

定价17.00元

销售分类建议：经济管理

江西理工大学优秀学术著作出版基金资助出版

系统动力学在企业经营仿真中的应用

谢英亮　刘勤蓝　江　华　著

北　京
冶金工业出版社
2012

内 容 提 要

本书在简要介绍系统动力学理论和方法的基础上，详细阐述了系统动力学在企业经营仿真中的应用方法和有关研究成果。主要内容包括：系统动力学及 Vensim 简介、航空公司经营特征及运营系统介绍、航空公司运营仿真模型应用案例、有色金属矿山企业运营仿真应用案例等。

本书可供高校经济管理类专业师生、企业管理研究人员、企业仿真软件开发人员及企业经营管理者参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统动力学在企业经营仿真中的应用/谢英亮，刘勤蓝，江华著．—北京：冶金工业出版社，2012.11
ISBN 978-7-5024-6084-6

Ⅰ.①系… Ⅱ.①谢… ②刘… ③江… Ⅲ.①系统动态学—应用—企业管理—仿真系统 Ⅳ.①F270.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 268503 号

出 版 人　谭学余
地　　址　北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号，邮编 100009
电　　话　(010)64027926　电子信箱　yjcbs@cnmip.com.cn
责任编辑　杨　敏　美术编辑　李　新　版式设计　孙跃红
责任校对　禹　蕊　刘　倩　责任印制　张祺鑫
ISBN 978-7-5024-6084-6
冶金工业出版社出版发行；各地新华书店经销；北京百善印刷厂印刷
2012 年 11 月第 1 版，2012 年 11 月第 1 次印刷
148mm×210mm；4.625 印张；123 千字；138 页
17.00 元

冶金工业出版社投稿电话：(010)64027932　投稿信箱：tougao@cnmip.com.cn
冶金工业出版社发行部　电话：(010)64044283　传真：(010)64027893
冶金书店　地址：北京东四西大街 46 号(100010)　电话：(010)65289081(兼传真)

前　言

在市场经济条件下，企业不再是封闭性的生产型单位，而是一个与生产同类产品的企业相互竞争的企业，是一个与采购市场、销售市场、劳动力市场和金融机构等外部经济体系有着广泛联系的开放性系统。面对激烈的竞争，在错综复杂的现代生产经营活动过程中，企业必须面向市场，抓住重点，突出主线，以获取最大的经济效益和社会效益等为主要目标，就企业的一系列生产经营活动做出科学的决策。

面对企业内外部错综复杂的动态变化，如何跳出复杂，把握重点，著名学者彼得·圣吉推崇的“微世界”很值得企业的管理层学习。企业“微世界”的创建也就是企业生产经营仿真系统的构建过程，即个人电脑使复杂的团体互动之整合成为可能。如今，供管理者做实验的“微世界”所探究的，包括从控制成长到产品发展、市场营销、运作管理、财务管理、品质改善等各式各样的课题，并兼跨服务业和制造业。这种“微世界”是一种借助计算机技术的模拟仿真，利用计算机仿真技术量化地刻画企业复杂的运作流程并加以诊断和改善，它在国外开展已有四五十年的历史，至今已经成为企业提升运营效率的重要工具之一。仿真不用搭建实体模型，只用实体模型的小部分费用在计算机中建立虚拟模型来测试各种想法和假设条件，节省了大量的资金投入，最重要的是，极大地降低了决策的风险；仿真可以对整个产品生命周期的各个流程进行建模，可以帮助企业找到增值能力不强、资源没有充分利用和反应速度不够及时的环节，并做出改进的建议。越是复杂的系统，仿真越能够提供全局而系统性的研究，越

能发挥仅仅依靠头脑所无法提供的复杂分析能力，因而，企业生产经营现实系统越是具有高度的复杂性，其仿真系统越能凸显其优越性。

本书以系统动力学为工具，以航空运输企业和矿山企业为背景，建立适合于企业应用的管理政策实验模型，提供情境模拟分析环境，重点研究企业经营模拟仿真系统的建构和应用。多年来，作者围绕着系统动力学在企业模拟仿真中的应用展开了深入的探索，并在其理论基础、建模方法、应用案例研究等方面取得了可喜的进展。

本书第 1 章由谢英亮撰写，第 2 章、第 3 章由江华撰写，第 4 章、第 5 章由刘勤蓝撰写。谢英亮负责本书的总体框架构思并参与第 2 章 ~ 第 5 章的撰写。

限于作者的水平和经验，书中不足之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

2012 年 6 月

目 录

1

系统动力学及Vensim简介

1.1 系统动力学的产生与发展[1]

1.1.1 国外系统动力学发展历程及应用领域

系统动力学（system dynamics，SD）出现于1956年，在20世纪50年代末成为一门独立的学科，其创始者为美国麻省理工学院福瑞斯特（J. W. Forrester）教授。

20世纪50年代后期，系统动力学逐步发展成为一门新的学科，初期它主要应用于工业企业管理，处理诸如生产与雇员情况的变动、市场股票与市场增长的不稳定性等问题。此学科早期的称呼——"工业动力学"即因此而得名。此后，系统动力学的应用范围日益扩大，从民用到军用，从科研、设计工作的管理到城市摆脱停滞与衰退的决策，从世界面临指数式增长的威胁与资源储量日益殆尽的危机到检验糖尿病的病理假设，应用范围非常广泛。

20世纪60年代是系统动力学成长的重要时期，一批代表这一阶段理论与应用研究成果水平的论著问世。福瑞斯特教授发表于1961年的《工业动力学》（Industrial Dynamics）已成为本学科的经典著作，它阐明了系统动力学的原理与典型应用。《系统原理》（Principles of Systems，1968）一书侧重介绍了系统的基本结构。《城市动力学》（Urban Dynamics，1969）则总结了美国城市兴衰问题的理论与应用研究的成果。

20世纪70年代系统动力学进入蓬勃发展时期，由罗马俱乐部提供财政支持，以Meadows为首的国际研究小组所承担的世界模型研究课题，研究了世界范围的人口、资源、工农业和环境污染诸因素的相互关系，以及产生后果的各种可能性；而以福瑞斯特教授为首的美国国家模型研究小组，将美国的社会经济作为一个整体，成功地研究了通货膨胀和失业等社会经济问题，第一次从理论上阐述了经济学家长期争论不休的经济波动的产生机制。

这一成就受到西方的重视，也使系统动力学于20世纪80年代初在理论和应用研究两方面都取得了飞跃式的发展，达到了更成熟的阶段。目前系统动力学正处在一个蓬勃发展的时期，其自身的理论、方法和模型体系仍在深度和广度上不断发展和完善。

目前，国外系统动力学的应用非常广泛。在宏观经济、微观经济、社会与人口、生态与环境、科技与教育、医学、生物学及工程技术等领域都有许多系统动力学的研究成果，主要应用领域划分如下：

（1）战略研究和产业、企业规划；

（2）业务流程设计；

（3）项目管理；

（4）物流与供应链管理；

（5）公共管理和公共政策；

（6）学习型组织建设；

（7）生物建模和医疗建模；

（8）能源和环境；

（9）自然科学和社会科学领域的理论发展；

（10）动态决策分析；

（11）复杂的非线性的动力学。

1.1.2 国内系统动力学发展历程及应用领域[1-7]

20世纪70年代末，一批专家学者将系统动力学引入中国，如上海的杨通谊先生和王其藩教授，浙江的许庆瑞教授以及上海交大的

吴建中教授等。系统动力学在研究复杂的非线性系统方面具有无可比拟的优势，相关学者把它应用在社会、经济、商业、城市建设乃至生物、医疗、环境保护等方面的研究中，都提出了独到见解并做出了巨大贡献。在其被引入中国后，得到中国学者的大力支持，并广泛应用于国民经济管理的各个领域。在中国，很多学者运用系统动力学理论和方法，对社会生活、生态环境、社会可持续发展、企业经营管理等领域的实际问题进行了系统性的研究，为社会经济发展做出了巨大贡献。目前系统动力学方法在我国已开始用于地区和国家级规划模型，一些高等院校及专业学术团体正积极参与研究并向社会推广应用。

1.2 系统动力学基本理论

1.2.1 系统复杂性、因果关系图[8,9]

1.2.1.1 系统复杂性

在我们周围，系统比比皆是，有电气的、机械的、生物的、生态的、经济的、社会的，不胜枚举。大的系统如人体运行系统，涉及资源、人口、粮食、资产以及污染问题的世界社会—经济—生态系统，一个国家或一个区域的社会—经济—生态系统，涉及城市建设、人口、就业、交通、住房与社会福利的城镇系统，还有交通运输系统等等。小的系统诸如一些企业的生产、采购与销售的经营管理系统，飞机、船舶或汽车等机械系统，一棵树也可以成为一个生物系统等等。

无论是大系统还是小系统，都具有动态复杂的特征。系统内部各要素间、系统与系统间相互影响、相互作用，使得系统的输入输出变得非常复杂。

系统动力学是处理信息反馈系统的动态行为的方法论。作为其研究对象的实际系统，一般都是高阶次、非线性、多重反馈的复杂

系统。系统动力学中的系统一般包括三类构成要素：物质、信息和运动（包括人及其运动）。系统可分为自然系统和人工系统，如海洋、河流、森林等可以认为是自然系统，而通过人为规定的组织制度等建立起来的各种管理系统、经济系统，人类对自然现象和社会现象认识所形成的科学系统、技术系统等都属于人工系统。系统有边界，边界以内为系统构成要素，边界以外为系统环境，边界可以根据研究目的和范围人为划定。

综上所述，我们可以得出形成系统的四个基本条件：

(1) 系统的整体有一个总目标，各元素围绕一个总目标而运动。

(2) 每一个系统都有边界，边界内应有两个以上的构成要素。因此，我们研究某个系统，首先应探讨组成这个系统的元素是什么，确定出系统的边界。

(3) 系统内每个元素有各自的功能，各元素之间有相互作用的关系。

(4) 系统具有时间属性。物质在系统内的运转称为物流，资金的运转称为资金流，信息的传递成为信息流。无论哪一种，我们统称为流。这些流随时间推移，沿时间轴运动，也就是说什么时间产生，其结果如何，这种结果会有什么发展，都是按时间属性进行的。

1.2.1.2　因果关系图

由于系统内部各要素间存在相互联系、相互影响的复杂关系，所以，可以通过描述系统各要素的因果关系来描述系统各要素间的关系。在系统动力学方法中，我们应用因果关系图来描述系统各要素间的因果关系。因果关系图有以下几个部分组成：

A　因果关系

因果关系是系统动力学方法建模的基础，是对复杂系统的要素与关系的一种真实写照。

B 因果键

通常因果关系是用一个箭头表示的，例如系统中的两个要素A和B，图1-1表示了这两个要素间的因果关系，A是原因，B是结果。这种有箭头的线条则称为因果关系键，简称因果键。如果A增B也增，则称A、B间具有正因果关系，并用“+”标在因果键旁边，如图1-1a所示。同理，图1-1b表示的是负因果关系，该键称为负因果键，说明A、B变化方向相反，A增B减，负因果键用“－”标出

图1-1 因果键
a—正因果键；b—负因果键

C 反馈环

两个以上的因果键首尾相连形成环状，被称为因果反馈环，如图1-2a所示。因为因果键有正负之分，所以，由这种带极性的因果键串联而成的反馈环也必然有正反馈环和负反馈环。偶数个负因果关系形成反馈回路为正反馈环，奇数个负因果关系形成反馈回路为负反馈环。按照因果关系，正反馈环的性质是：如果反馈环中有某个因素的属性发生变化，那么，由于其中一系列要素的属性递推作用的结果，将使该要素的属性沿着原先变化的方向继续变化下去。因此，正的反馈环具有自我强化（或弱化）的作用，是系统中促进系统发展（或衰退）的因素。在负的反馈环中，当某个要素发生变化时，在反馈环中一系列要素属性递推作用的结果，将使该要素的属性沿着与原来变化方向相反的方向变化。因此，具有内部调节器（稳定器）的效果。负反馈环可以控制系统的发展速度或者衰退速度，是使系统具有自我调节功能必不可少的因素。系统动力学认为，系统的性质和行为完全取决于系统中存在的反馈环。图1-2b所示的是正反馈环，图1-2c所示的是负反馈环

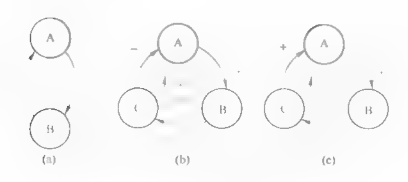


图 1-2 反馈环

(a) 因果反馈环；(b) 正反馈环；(c) 负反馈环

1.2.2 系统流图

系统动力学在充分考虑到动态系统实物或信息"流动"的基础上，提出了系统动力学的"流图"结构。系统动力学流图并不拘泥于动态系统的数学描述，而是把重点放在给出系统内部实物或信息之间的相互关系上。如果系统动力学流图和定量描述相结合，就可以给出动态系统状态的全部时间行为。简单的系统动力学流图见图1-3。

图 1-3 系统动力学流图

1.2.3 系统变量与方程式

1.2.3.1 系统变量

系统动力学常用的变量有如下几种：

1. 水平变量（level） 水平变量描述了系统的状态，它又可称

为状态变量。水平变量反映了动态系统变量的时间累计过程。因此，在系统中可以观察水平变量在任何时间瞬时的取值，它的取值仅仅受速率变量的影响而改变。

（2）速率变量（rate） 速率变量描述了水平变量的时间变化，它又可称为决策变量。在数学意义上，速率变量反映了导数的概念，因而它是不能瞬时观察的。在系统中，我们只能观察到速率变量在时间段内的平均值。因此，在系统动力学模型中采用区间上的平均速率来代替瞬时速率进行计算。

（3）辅助变量（auxiliary） 在理论上，系统动力学只需要水平变量和速率变量，加上系统的初始状态就可以确定动态系统的全部过程。但在使用上常常还需要某些中间结果，例如对系统信息量的理解或计算机仿真输出等，因而又引起了辅助变量这一概念。辅助变量用来描述位于水平和速率之间的中间变量，它必位于水平变量和速率变量之间的信息通道上。

（4）常量（constant） 常量是指在所考虑的时间范围内变化甚微或相对不变化的系统参数。严格地说，绝对不变化的参数是不存在的，但对于那些变化甚微的参数，都可以视作常数予以处理。例如劳动生产率，虽然是变化的，但是在某种情况下仍可以把它视作常数。常量可以用直接或辅助的形式把信息输入到水平变量或速率变量。

水平变量、速率变量、辅助变量、常量又统称为内生变量。

（5）外生变量 制约着内生变量，但又不受内生变量制约的变量称为外生变量。

1.2.3.2 系统方程式

建立方程是把模型结构“翻译”成数学方程式的过程，即把非正规的、概念的构思转换成正式的定量的数学表达式——规范模型的过程。建立方程的目的在于使模型能用计算机模拟（或得到解析解），以研究模型假设中隐含的动力学特性，并确定解决问题的方法与对策。

建立方程阶段远非仅仅是在有趣的构思与结果分析两个阶段之

间的技术插曲。正如前面曾叙述的，以因果关系图表示模型，其含义常常模糊不清。从为了更真切地描述客观事物的意义上说，规范模型要精确得多，它可借助计算机毫不含混地一步一步算出变量随时间的变化。另外，建立方程阶段所必需的精确性也迫使构模者清晰地去思维，从而加深对系统结构的了解。即使有了图形化界面的仿真工具，其中的参数设置仍然要用到方程的概念，故方程的建立仍然具有重要作用，是仿真建模的重要环节。

1.2.4　系统动力学模型的特点

系统动力学模型与其他模型方法相比，具有下列特点：

（1）适用于处理长期性和周期性的问题。如自然界的生态平衡、人的生命周期和社会问题中的经济危机等都呈现周期性规律并需通过较长的历史阶段来观察，已有不少系统动力学模型对其机制做出了较为科学的解释。

（2）适用于对数据不足的问题进行研究。建模中常常遇到数据不足或某些数据难于量化的问题（灰箱问题），系统动力学根据各要素间的因果关系及有限的数据及一定的结构仍可进行推算分析。

（3）适用于处理精度要求不高的复杂的社会经济问题。一般来讲，复杂的大系统的常因描述方程是高阶非线性动态的，应用一般数学方法很难求解。系统动力学则借助于计算机及仿真技术，在无法求得精确解的情况下仍能获得主要信息。

（4）强调有条件预测。本方法强调产生结果的条件，采用了"如果……则……"的形式，对预测未来提供了新的手段。

1.2.5　系统动力学建模原则[8,9]

模型是描述现实系统的，因而它是源于实际、反映实际的。通过建立模型而达到抽象化，反映了人们对现实系统认识的深化，是认识的飞跃。建模是系统动力学方法中最为关键和困难的阶段，建立一个有效的模型应遵循下面一些基本原则：

（1）在建模的构思、模拟与测试等过程中，要根据所研究的系统的整体性、层次性、复杂性等特性，对系统结构进行灵活而正确的分解与综合。

（2）要遵循一个"明确"、三个"面向"，即明确目的，面向问题、面向过程与面向应用。建模时首先应明确建模目的，明确模型的任务是什么；建模应集中于问题与矛盾，而不是整个系统；建模的全过程都要面向客观系统所要解决的矛盾与问题，面向矛盾诸方面相互制约、相互影响所形成的反馈动态发展过程；面向模型的应用、政策的实施。

（3）系统动力学仅处理那些随时间而变化和源于反馈结构的问题，这两者有助于确定问题、定义变量和构思模型。

（4）模型是实际系统的"实验室"，它是真实系统的简化与代表，是真实世界的某些断面或侧面。建模不等于对实际系统的复制，应防止所谓原原本本、一一对应按真实世界去建立模型的错误倾向。

（5）检验模型的一致性、有效性的最终标准是客观的实践。人对客观事物的认识不可能一次完成，而是螺旋上升的过程。因此，没有终极的模型，没有十全十美的模型，只能有阶段性的、达到预定目标和满足预定要求的相对有效的模型。

1.2.6 系统动力学的建模步骤

系统动力学建模流程如图1-4所示，具体步骤如下：

（1）明确建模的目的，即明确模型所要研究和解决的问题。

（2）系统边界的界定，即确定问题研究的范围。系统内部应包括所有对系统特性有重大影响的因素，而在边界外与系统有联系的部分便是系统的环境。

（3）系统结构分析，即研究系统及其组成部分之间的关系，研究系统的反馈结构，分析系统整体与局部之间关系，进而搞清系统中的因果关系与反馈回路，形成因果关系图。

（4）系统动力学模型建立，即运用系统动力学专业语言进一步

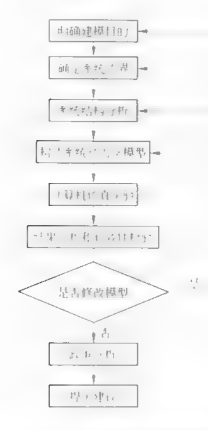


图 1-4 系统动力学建模流程图

刻画系统各变量之间的相互作用关系，建立相应的数学方程组，利用趋势外推法、线性回归法和参数估计法等确定模型的参数值，作系统动力学流图。

（5）模型应用，即运用模型进行模拟，并检验模型的真实性与信度。通过对结果的分析，可以发现系统结构的缺陷与不足，确定是否对模型进行必要的修正，然后再做仿真测试，直至得到满意的结果为止。最后，再进行政策分析并提出合理建议。

1.3 Vensim 软件简介

1.3.1 系统动力学软件的发展历程

系统动力学创建伊始，美国麻省理工学院（MIT）的普夫（Al-

exander Pugh L）就依据系统动力学中无限分割、以不变代变和递推的思想方法，设计了系统动力学专用仿真语言，并借用计算机技术，成功得到了一套近似解流位流率系的仿真方法，最初软件命名为 DYNAMO I。经过不断地发展、改进，到了 20 世纪 80 年代有了 Micro DYNAMO 和 PD PLUS 软件。到了 90 年代，随着 Windows 操作平台的普及，Ithink 和 Stella 是 isee systems（前 HPS）公司开发的一种系统思考工具软件，目前最高版本为 9.0。Ithink 和 Stella 软件能帮助人们建立模型并利用模型对实际问题进行模拟，找到较为理想的决策方案，减少因缺少对系统整体了解而盲目决策所带来的风险。另外，美国 Ventana 公司推出了 Vensim 系统动力学软件，目前该软件的最高版本是 5.7 版。Vensim 软件是一个可视化的建模工具，通过使用该软件可以对系统动力学模型进行构思、模拟、分析和优化，同时可以形成文档。

1.3.2 Vensim 软件的特点

Vensim 软件主要有以下几个特点：

（1）利用图形化编程建立模型。在 Vensim 中，“编程”实际上并不存在，只有建模的概念。在启动 Vensim 系统后，只要在得到的主窗口中，依据操作按钮（画图工具）画出流位流率图，再通过 Equation Editor 输入方程和参数，就可以直接进行模拟使用了。在 Vensim 中，方程及变量不带时标，模型建立是围绕着变量间的因果关系展开的。

（2）可以在 Windows 环境下运行，对操作系统和硬件环境要求较低。

（3）对模型提供多种分析方法。Vensim 可以对模型进行结构分析和数据集分析。其中结构分析包括因果反馈图分析，数据集分析包括变量随时间变化的数据值及曲线图分析。

（4）真实性检验。对于所研究的系统，对于模型中的一些重要变量，依据常识和一些基本原则，可以预先提出对其正确性的基本

要求。这些假设是受真实性约束的。将这些约束加到建好的模型中，专门模拟现有模型在运行时对于这些约束的遵守情况或违反情况，就可以判断模型的合理性与真实性，从而调整结构或参数。

1.3.3 Vensim 软件的界面

Vensim 的用户界面是标准的 Windows 应用程序界面，除支持菜单和快捷键外，还提供多个工具条或图标，这使用户操作起来非常方便。启动 Vensim 软件后的界面如图 1-5 所示。

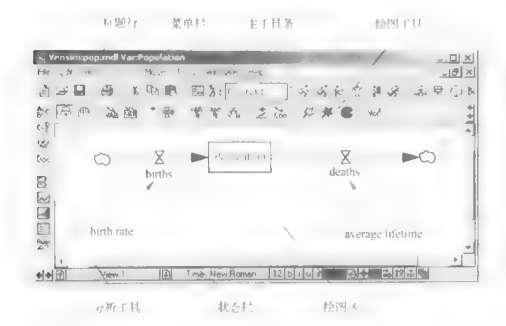


图 1-5 Vensim 软件界面

Vensim 软件界面由以下几个部分组成：

(1) 标题行：显示当前打开的模型（Pop.Mdl）以及当前工作变量（Population）。

(2) 菜单栏：提供本软件的所有功能菜单。

(3) 主工具条：提供文件操作和仿真操作的工具按钮。

(4) 绘图工具：提供建立模型的绘图的各种工具。

(5) 分析工具：提供模型分析信息输出的各种工具按钮。

6. 状态栏　用于显示当前的View视图、绘图工作区的文本字体设定，前景色、背景色等的设置。

7. 绘图区　用于绘制因果图、流位流率图、编制模型方程、变量参数的工作区域。

1.3.4　Vensim 软件的使用

1.3.4.1　创建因果图（causal loop diagrams）

下面，我们以研究兔子数量简化模型为例来创建因果图，如图1-6所示。

图1-6　兔子数量简化模型因果图

（1）设置时间参数：单击菜单【File New Model】，打开【Model Setting】窗口，单击【Ok】按钮。

（2）绘制因果图：

①单击变量【Variable Auxiliary Constant】按钮，然后在绘图区（sketch drawing area）单击，输入变量名（或常量名）[兔子数]、[出生数]、[死亡数]；

②单击箭头【Arrow】按钮，在"兔子数"变量上单击，然后在"出生数"变量上单击，将"兔子数"、"出生数"变量连接起来，表明"兔子数"对"出生数"的因果关系，用同样的方法可以将其他变量的因果关系连接起来；

③右击箭头，在弹出的对话框，设置+、-、延迟线等标示；

④单击标注【Sketch Comment】按钮，在右边的正反馈环

中单击，出现对话框，如图 1-7 所示。在 Shape 框中选中 Loop Clkwse，然后在 Graphics 中单击 Image，从下拉框中选择，然后单击【OK】按钮，就出现了（正反馈环标识），用同样的方法可以绘制（负反馈环标识）。

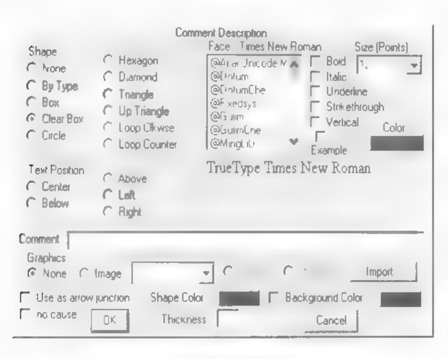


图 1-7 标注对话框

1.3.4.2 创建流位流率图（stock and flow diagrams）

下面，我们根据兔子数量简化模型因果图来创建兔子数量简化模型的流位流率图，如图 1-8 所示。

（1）设置时间参数：单击菜单【File New Model】，打开【Model Setting】窗口，设置 FINAL TIME = 36 Units：Month，INITIAL TIME = 0 Units：Month，SAVEPER = TIME STEP，TIME STEP = 0.25 Units：Month，单击【Ok】按钮，如图 1-9 所示。

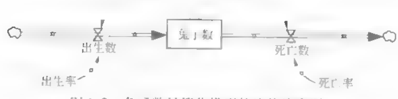


图 1-8　兔子数量简化模型的流位流率图

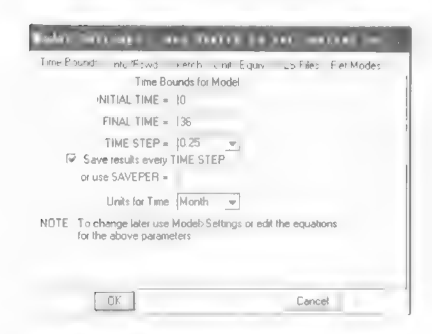


图 1-9　Model Setting

（2）绘制流位流率图：

1）单击绘图【Box Variable - Level】按钮，然后在绘图区（sketch drawing area）单击，输入流位变量名“兔子数”；

2）单击绘图【Rate】按钮，然后在绘图区（sketch drawing area）单击，输入流率变量名“出生数”、“死亡数”；

3）单击箭头【Arrow】按钮，在“兔子数”变量上单击，然后在“出生数”变量上单击，将“兔子数”、“出生数”变量连接起来，表明“兔子数”对“出生数”的因果关系，用同样的方法可以将其他变量的因果关系连接起来。

（3）输入模型方程和参数：单击绘图【Equations】按钮，然后在绘图区（sketch drawing area）单击变量名，然后在弹出的对话框中输入相关的方程和参数，如图1-10是变量"兔子数"的方程输入对话框。用同样的方法，可以输入其他变量的方程参数。

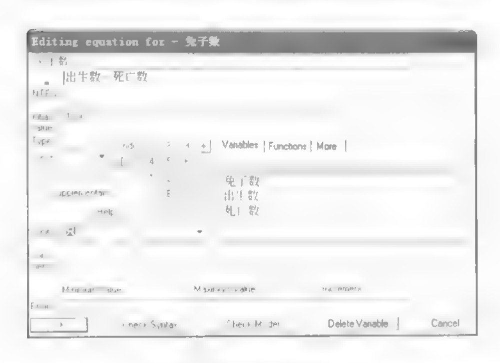


图1-10 方程和参数输入对话框

（4）在设置完所有方程和参数后，单击分析工具【Document】Doc按钮，可以得到兔子数量简化模型的方程和参数如下：

1）FINAL TIME = 36Units：Month；

2）INITIAL TIME = 0Units：Month；

3）SAVEPER = TIME STEP Units：Month [0,?]；

4）TIME STEP = 0.25Units：Month [0,?]；

5）兔子数 = INTEG（出生数 - 死亡数，1000）Units：只；

6）出生数 = 兔子数 * 出生率 Units：只；

7）出生率 = 0.005 Units：只/月；

8）死亡数 = 兔子数 * 死亡率 Units：只；

9）死亡率＝0.0035 Units：只/月。

（5）选中绘图区中的一个变量，然后单击分析工具按钮，如图按钮，可以得到各种仿真结果，如图1-11所示。

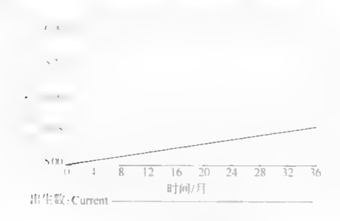


图1-11　仿真结果

1.4　企业经营仿真与系统动力学的应用[10,11]

在市场经济条件下，企业尤其是工业企业不再是封闭性的生产单位，而是一个与生产同类产品的企业相互竞争的企业，是一个与采购市场、销售市场、劳动力市场和金融机构等外部经济体系有着广泛联系的开放性系统。市场需求变化加快，技术进步，产品寿命周期缩短，企业生产经营正向多品种、小批量方向发展；企业与企业的竞争，越来越趋向于企业所在供应链之间的竞争。面对激烈的市场竞争，在错综复杂的现代生产经营活动过程中，企业必须面向市场，抓住重点，突出主线，以获取最大的经济效益和社会效益等为主要目标，就企业的一系列生产经营活动做出科学的决策。

然而，对于企业而言，每个竞争企业内部被划分为采购、生产、销售、人力、财务和管理等部门，面对如此复杂的系统，决策者的任何一个决策都有可能产生意想不到的后果。因为当我们在一个复杂系统中行动的时候，行动的后果往往是既不直接也不清楚的。这些后果在时间和空间上常与我们相隔很远。如何跳出复杂，把握重

点”著名学者彼得·圣吉推崇的“微世界”很值得企业的管理层学习，企业“微世界”的创建也就是企业生产经营仿真系统的构建过程，即个人电脑使复杂的团体互动之整合成为可能。这些微世界可以让人们反思、揭露、检验与改善他们赖以处理困难问题的心智模式。它们是设计用来塑造愿景，与实验各种达成愿景的策略和政策。它们已成为一种管理团体“演练场”，是团体在处理最重要的企业课题时，学习如何共同学习的地方。

如今，提供管理者做实验的微世界正被探究的，包括控制成长到产品发展、市场营销、运作管理、财务管理、品质改善等各式各样的课题，并兼跨服务业和制造业。这些实验以系统建模、团体学习的知识为基础，并结合相应的心智模式进行分析。管理团体“演练场”逐渐成为学习型组织中日习用的一种技术。

微世界对策略性与运营上的课题，能够提供以下启示：

（1）在微世界中，管理团体可以发现一个刚制订的策略有哪些内在矛盾。

（2）在微世界中，一个团体实验其成员的心智模式，从而发现团体成员所持假设可以影响顾客的偏好，看出隐藏的策略性机会。

（3）在微世界中，可以发现企业内部的某些假象，发现尚未运用的杠杆点。

其实我们所提及的“微世界”便是一种借助计算机技术的模拟仿真。在计算机上进行经营管理的操作，被试者可以及时得到反馈信息，以便了解自己的经营效果。利用计算机仿真技术量化地刻画企业复杂的运作流程并加以诊断和改善在国外开展已有四五十年的历史，至今已经成为企业提升运营效率的重要工具之一。

仿真是分析、诊断和优化复杂生产系统的有力工具。它不用搭建实体模型，只用实体模型的小部分费用，在计算机中建立虚拟模型来测试各种想法和假设条件，因而可以节省大量的资金投入；最重要的是，它极大地降低了决策的风险。仿真可以对整个产品生命周期的各个流程进行建模，可以帮助企业找到增值能力不强、资源

没有充分利用和反应速度不够及时的环节，并做出改进的建议。越是复杂的系统，仿真越能够提供全局而系统性的研究，越能发挥仅仅依靠头脑所无法提供的复杂分析能力。

企业生产经营现实系统越是具有高度的复杂性，其仿真系统使凸显其优越性。尤其是大型制造企业、服务企业，面对竞争，成败主要取决于"成本低、速度快和质量高"。如何做到在有限资源的前提下，迅速地对客户的需求做出反应，提供高质量的产品和服务，做到"全面效率提速"，需要强有力的决策工具来支持。这种工具可以快速地捕捉企业运营系统的动态特性，可以分析复杂的运营过程，可以提供快速的诊断结果，可以为决策者提供没有风险的诊断环境，可以以直观形象的方式和所有管理者沟通，可以产生更优化的决策，而仿真在这方面可以发挥积极作用。

目前国内在现代企业决策仿真领域研究成果比较突出的有宋福根等人。在其决策支持系统仿真中，从市场预测开始，涉及销售、生产、采购、全面预算，将整个企业的运营呈现于这几大模块中，进行模拟仿真。并且引进竞争机制，构建出若干个相互竞争的现代工业模拟企业、竞争市场、变动的市场经济形式，非常逼真地模拟了企业的运营，犹如企业的决策者置身于现实经营管理中。

"微世界"和"现代企业决策支持仿真"对于研究企业运营来说，都非常值得借鉴。在本书中，我们将以系统动力学为工具，对企业的运营进行模拟仿真。系统动力学仿真有许多不同的软件工具，本书采用Vensim为仿真平台。虽然工具不一样，过程同样是实体的真实反映。

建立企业生产经营仿真系统的过程是，从公司的经营现状出发，收集大量信息资料，研究企业活动中的信息反馈特性，以显示组织结构、放大作用（策略目的）以及延迟（决策与行为间的延迟）是怎样互相作用而影响到本企业成就的；给出一个框架，把经营管理上的各个功能领域如市场、生产、核算、投资等结合成整体，建立系统动力学模型，通过电脑模拟，深入了解企业行为及结构，对

企业各种影响因素可能引起的系统变化进行分析和试验，从而寻求改善系统行为的机会和途径。建立适合于该企业用的管理政策实验室，提供情境模拟分析环境，企业领导人在决策之前及策略形成初期模拟，预测并了解企业关键活动要素对企业运营的影响变化，作为管理决策上的参考建议。

本书将以航空运输企业和矿山企业为背景，探索以系统动力学为方法基础的企业生产经营仿真系统，希望通过典型企业系统来展示系统模型的构建和运用。

2

航空公司经营特征及运营系统介绍

2.1 航空公司运营系统构成[12-19]

一般来说，组成航空公司运营系统（图2-1）的三个职能部门包括航务运营、工程与维修、市场活动与销售。

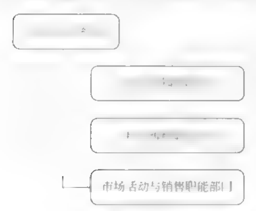


图2-1 航空运营系统职能部门划分

航务运营职能部门（图2-2）负责在地面和空中安全、及时和经济地运输旅客。调查发现，有些航空公司在履行这方面的职责时将航务、工程与维修、地面处理三个组成部分综合在一起。运营职能的综合管理使航空公司系统中两个或更多的核心组成部分（例如航务与地面服务）由一个职能部门首脑管理。运营职能部门内结构的趋势是向更为综合化的方向发展。

其部分原因是：枢纽机场在航线网内的地位越来越重要，而在枢纽机场内干线与支线航空公司之间大量旅客顺利交流的地面处理在航空公司运营效率中的地位也变得越来越重要。人们也越来越清楚地认识到，协调和生产，与市场活动一样，是系统整体效率的必要条件。这就要求组织结构能使其中的人员密集部分灵敏地、系统地适应比较复杂的运输系统的日常需求。

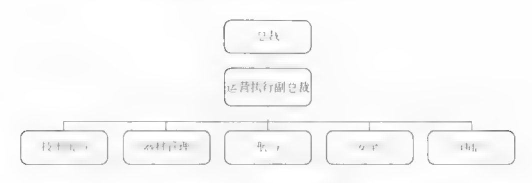


图 2-2　运营职能部门

工程与维修职能部门（图 2-3）一般担负以下三方面的责任：飞机的日常维修；飞机的大修；技术评定。如前所述，工程与维修职能正在变得与航务、地面服务结合得更紧密。然而航空公司中大多数依然将工程与维修职能部门分开，以保证飞机能按班期时刻表运转并符合条例要求。

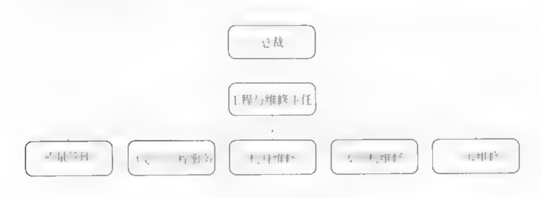


图 2-3　工程与维修职能部门

有效的市场活动成为航空公司取得成功的关键因素，其重要性日益增加。这反映在航空公司内部权力的平衡有所改变，市场活动与销售职能部门（图 2-4）所起的作用有所增加。这个职能部门的双重名称反映出各航空公司所采用的不同方法，有的将市场活动与销售综合在一起，有的将它们分开，分别由不同的经理负责。

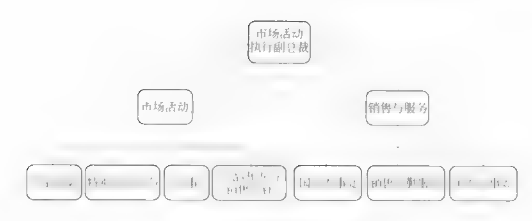


图 2-4 市场活动与销售职能部门

2.2 航空公司经营特点[15-19]

2.2.1 航空运输产品的特征

航空公司是以提供航空运输产品为主并带有浓厚服务性色彩的企业组织，它向社会提供的不是实物形态的产品，而是一种劳务产品。与其他行业相比航空运输产品具有如下特征：

（1）快速、舒适、安全。与其他运输方式比较，速度快是航空运输最大的优势和特点。航空运输与地面运输比较，运距越长，所能节约的时间越多，快速的优势越显著。据调查，无论是以时间为单位还是以旅客行驶的里程为基数来比较，航空旅行的安全系数都是各运输方式中最高的。

（2）灵活性强。航空运输在广阔的空间进行运输服务，与火车、汽车或船舶相比，不受沿途的地理因素的制约。除飞机外，只需要修建机场和必要的导航点，不像地面运输在线路建设上花费大量投资。

（3）产品不可储存。航空运输“产品”——旅客与货物的空间位移，是与被运输的客货结合在一起的。因此，与其他运输行业，如铁路、公路、海运和管道运输一样，其产品不能储存，不能调拨，

只能以满足当时、当地发生的运输需求为限度。

(4) 产品的单向性和时间性。航空运输需求实质上是对时间节约的需求，而且航空运输本身具有很强的时间性，离开该段时间，需求随即消失。这突出表现在需求的季节性变化上。同样，很多航空公司还研究一周内不同日期的需求变化规律。伴随着产品的时间性要求，不同方向上产品需求也存在着不同特征，这不仅表现在数量上的差异，而且表现在内容上的不同。

(5) 产品的可替代性强。各种运输方式虽然其运输线路、运输工具以及技术装备各不相同，但是生产的是性质相同的"产品"，即旅客和货物在空间的位移。因此在不同的运输方式之间存在着相互替代性，由此产生了天然的竞争关系。对于航空公司而言，尤其是区域性航空公司正面临着来自高速铁路和快速汽运的挑战。

航空运输产品的可替代性还表现在各航空公司的产品本身之间差别不明显，旅客或者货主选择航空公司的产品主要不是依据其产品本身的不同，而主要是受价格等其他因素的影响，因需求价格弹性非常明显。航空运输产品不易建立顾客的某一产品的品牌忠诚，航空公司不得不在产品之外附之以其他因素，来创建品牌忠诚。最典型的是各航空公司广泛采用的常客奖励计划，据此来长期吸引旅客，保持固定的市场。

2.2.2 航空公司运营过程的特殊性

航空公司运营过程的特殊性表现为：

(1) 航空公司的生产运营过程具有资金密集型特点。首先航空公司的生产运营过程的开始意味着较大的先期资本投入。航空公司生产过程不可缺少飞机、配套的地面设备、飞行员和其他销售人员、服务人员等，必须拥有足够的办公场所和完善的信息网络和通信设备。仅就飞机而言，每架飞机就意味着数千万美元甚至上亿美元的资产。因此，为使航空公司的运营成为可能，航空公司必须有足够的先期投入。另外，生产运营过程伴随着较大的现金流的发生。为

维持航空公司日复一日的生产过程，必须维持持续的较大的现金流，即必须保证有足够的流动资金。无论是由于何种原因造成的现金流的中断，都意味着航空公司的运营过程的终止或暂停，这将给航空公司带来致命的打击。

（2）航空公司产品的销售过程发生在生产运营过程之前。实物形态的产品，其生产和消费一般表现为时间上和空间上的两个分离的行为。航空运输业则不同，其消费过程是和航空公司的生产过程结合在一起不可分离的，消费者的消费过程即是航空公司的生产过程。运输的消费过程与生产过程结合在一起的统一过程，决定了运输工具的运行只有被消费才是有效的生产，否则，只能被浪费。

有形产品生产计划及生产过程所造成的失误，可以通过其事后的销售过程来弥补；而航空公司的生产过程与其消费者的消费过程同时发生，计划不周以及运营过程所发生的失误无法事后弥补。这不仅包括安全上的问题，生产计划的失误也都是如此。

（3）航空公司生产运营过程的管理工作内容复杂。按照系统论的思想分析一个企业，可以将其生产过程抽象为：将一定要素输入，经过一定的转换过程，而输出一定的产品的过程。将有形产品的生产过程与航空公司的生产过程进行比较时，可以发现两者存在着较大的差别。有形产品生产过程的输出结果是一定数量的不同规格、型号的产品，这些产品按照顾客可以接受的价格出售，价格最终由市场决定。生产过程中只需确定产品的规格和数量，确定生产过程的合理工艺过程。相对而言，航空公司的生产过程显得更加复杂。航空公司向市场销售的是一份详尽的生产运营计划航班时刻表，价格需要由航空公司事前决定，而这一运营计划一旦投入市场销售之后，就无法随意调整。同时为保证计划的顺利实施，在运营生产之前及在生产运行之中，航空公司要做出周密科学的作业安排。这一作业安排涉及运输过程的各个单位、不同部门，任何环节的问题都会引起整个运营过程的混乱。

2.3 航空公司成本构成体系[18~20]

划分航空公司成本的基本途径有两个：

(1) 从航空公司为提供空运服务的各种功能上分析成本的构成（图2-5），可分为以下几项：

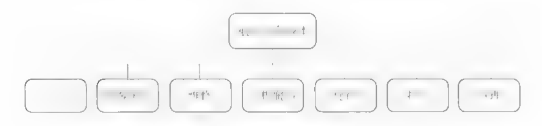


图2-5 航空运营功能成本划分

1) 飞行。即直接运营成本。

2) 旅客服务。即售票、机上旅客服务等与向旅客提供服务直接相关的成本。

3) 维修。即飞机与其他设备的修理与保养，包括直接维修，即实际维修成本和分摊维修成本，如管理费等非直接维修成本。

4) 飞机服务。其包括加油和着陆等相关成本。

5) 促销。即市场开发、定座与销售成本。

6) 折旧。即用以积累逐渐老化的飞机及其他设备的价值消耗。

7) 管理。其包括一般行政管理、法律诉讼、管理人员的工资等以上项目之外的成本。

(2) 从航空公司成本的构成要素、输入的类型上分析成本的构成（图2-6），可划分为以下几大项：

1) 劳动力成本。国际上看，劳动力成本是成本的第一大项，平均占全部成本的30%左右。我国航空公司劳动力成本相对所占比例较小，只有2%左右（当然中外航空公司统计口径有明显差异，不宜进行直接对比），但从趋势来看，逐年有所上升。

2) 燃油成本。有关统计资料表明，燃油成本占航空公司总成本

的7%～20%不等，它随国际油价的变化上下波动。由于我国航油供应价格偏高，使我国航空公司平均航油成本比欧美航空公司高出40%左右。

3）资本投入。平均占总成本的10%～20%，包括飞机和地面设备、设施，如机坪设备、工程维修设备、办公设备及办公大楼等其他设施。

4）其他成本。由以上成本类别中不包括的项目所组成，在国外航空公司平均总成本中约占35%～50%。具体包括代理费、旅客餐食、飞机起降费、市场促销广告费、飞机维修材料费等项目。

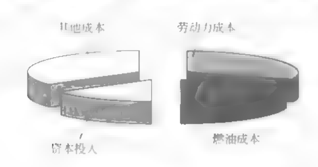


图2-6 航空运营要素成本划分

2.4 航空公司收益管理体系[21-28]

2.4.1 收益概念

过去航空公司习惯使用载运率、客座利用率和飞机利用率等指标反映航空公司的经营状况，这是计划经济的产物。在市场经济条件下，经济效益是企业经营的主要目标，因此航空公司在使用上述指标的同时，引入“收益”（Yield）这一指标用以反映航空公司的赢利能力[21]。

所谓收益是指平均每客公里（英里）收入，即对于所承运的每位旅客、每飞行一公里（英里）所获得的平均收入。它的研究对象既可以是航空公司整个系统，也可以是某一航班或航班中的某

舱位[22]。

每客公里（或英里）收入 = 运输收入/收入客公里（或英里）数，可表示为：

Yield = Revenue/RPKs 或 Yield = Revenue/RPMs

对于单一票价结构，收益水平取决于票价水平。对于既定的运量而言，通常收益高就意味着收入高，航空公司可以通过计算收益的大小来比较不同航线或航班价格水平和赢利能力的高低。

在多种票价的情况下，收益这一指标变得更加复杂。某一航班的收入可以表示为：

$$Revenue = f_1 * p_1 + f_2 * p_2 + \cdots + f_n * p_n$$

这里，f_1、f_2、…、f_n 为不同舱位的票价水平；p_1、p_2、…、p_n 为不同舱位下承载的旅客人数。

该航班的收益水平 Yield 为：

$$\begin{aligned} Yield &= (f_1 * p_1 + f_2 * p_2 + \cdots + f_n * p_n) / RPMs \\ &= (y_1 * p_1 + y_2 * p_2 + \cdots + y_n * p_n) / (p_1 + p_2 + \cdots + p_n) \end{aligned}$$

这里，y_1、y_2、…、y_n 为不同舱位的收益水平。航班收益的高低取决于各级票价水平的高低和与之对应的旅客人数的多少。

2.4.2 收益管理基本组成

收益管理不仅仅是一个计算机系统，它是集人力、知识和技术为一体的一个完整的经营管理过程，如图 2-7 所示。根据已经起飞航班的订座曲线规律和未来航班的现有订座水平，预测现有航班安排下各舱位的旅客需求量。依据不同舱位的价格水平，做出座位分配方案。在确定座位分配方案时，要考虑到不同舱位水平和超订水平，从而获得综合优化订座控制安排，并将此结果加载到订座系统之中。如遇特殊情况，应对计算机系统做出的优化控制方案进行手工调整，并人工加载到订座系统之中。对任何一个收益管理系统基本组成部分而言，至少包括 7 个组成部分[23]：

（1）人员。任何系统都是由人来设计及控制的，人员是系统的

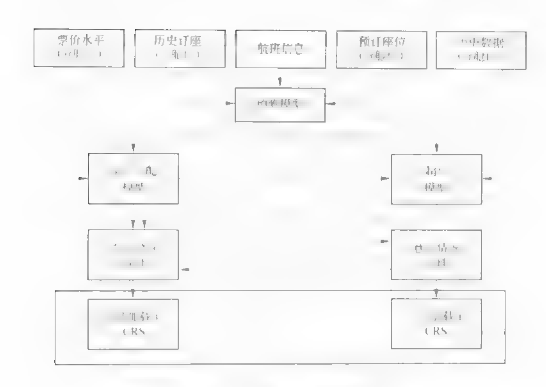


图 2-7 收益管理基本流程图

灵魂。首先高级管理人员至关重要，只有得到他们的理解和支持，有效的收益管理才会成为可能。其次是各有关部门（图2-8）协作、配合，如果在负责收益管理、战略制定以及收入核算的成员之间能达成共识，收益管理的潜在效益就会发挥出来。再次，收益管理人员、市场分析人员必须具有很高的技能组合（分析、组织和操作能力），必须具有良好的知识结构（微观经济学、运筹学、系统开发技术和航空公司管理经验等）。

（2）定价。定价部门制定价格策略，预测分析市场需求的变化趋势；收益管理部门对预期的需求做出合理的反应。价格和与之相对应的限制条件共同细分着市场，并为收益管理提供了对不同价格的控制依据。因此，只有定价专家和收益管理专家的密切配合，才能确保收入的最大化。有人预言，未来的收益管理将会是这两类人员在同一办公室并肩作战。

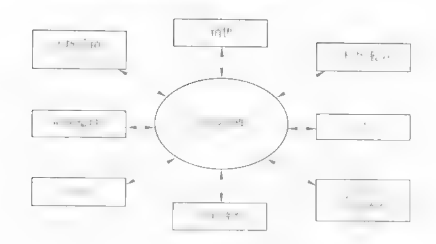


图 2-8　与收益管理有关的主要部门

（3）技术。技术的进步正日益改变着收益管理系统本身。越来越多的航空公司尝试使用自动化程度更高的系统来改变原有的手工工作过程。有关人员正尝试使用一项新的技术——订座系统上直接附带独立的分处理器。这种先进的技术对航班优化技术的提高将起决定性作用。

（4）数据。任何决策过程都离不开数据。航空公司在制定决策之前应对影响旅客需求的诸多因素进行分析，如：起点和终点城市的经济状况、季节变化、政治因素、气候特点及自然灾害等方面。同时，航空公司自身的因素也会使数据发生动态的变化，如：每年的航班变化、运力变化、票价的调整及各级运价对应限制条件的变化等。及时跟踪、准确掌握上述变化，并依此做出迅速反应，是收益管理过程的重要环节。

（5）预测。预测是收益管理系统的核心，是以离港载运状况为依据做出的，但它不仅局限于一维的时间序列估计，通过对历史数据的分析，探求起飞前不同时间的订座量与离港载运率之间相互影响的规律；依据现有订座量，获得对未来航班离港之前的订座趋势预测。

（6）优化。收益管理就其本质而言是一种优化过程，而对航班

载运数量及其旅客成分的优化，实现航班收入的优化，即在提高航班载运率的同时，尽量多地承载高收益旅客。

（7）衡量。对收益管理工作提供反馈是必不可少的过程。衡量能够量化收益管理部门对企业的作用和收益管理的潜在效益，追踪收益管理的结果。

在一个成功的收益管理部门中，每一个部分都是必不可少的组成部分，每一部分对促进收入的增长都起着巨大的作用。只有当收益管理部门与其他为之提供信息的关键部门之间存在真正沟通和交流的时候，收益管理的作用才能全部发挥出来。

2.5 航空公司战略规划系统[15,27~30]

航空公司的战略规划是在三个层次计划之间有效的信息交换过程（图2.9）。三个层次计划包括：公司发展战略规划、公司资源规划及具体实施计划。处于高层的公司战略规划，主要确定、调整（更新）公司的目标和政策。第二层公司资源规划主要制定公司的四项重要资源——财务、航线、市场和机队之间的协调计划。第三个层次与航空公司运营各部门在执行计划过程中的行动有关。四项资源计划之间互相交换信息，同时，每一项规划同与之相关的执行部门交换信息、互相影响，最终影响到公司的具体运营行为[29,30]。

机队规划是航空公司规划框架中资源规划的重要组成部分。首先，机队规划已成为航空公司计划工作的一个十分重要的内容。在航空公司的机队规划与战略规划之间存在着很强烈的依存关系。另一方面，在机队规划与其他三项资源之间（财务、市场、航线）亦存在相互影响。各环之间以及同一环内各因素之间相互影响程度，取决于公司规模的大小、公司结构、财务的稳定性等。

从上述三层计划的关系可以看出，在实现航空公司经营战略目标的过程中，机队调整的计划方案、航班机型选择方案是其基本保证之一。

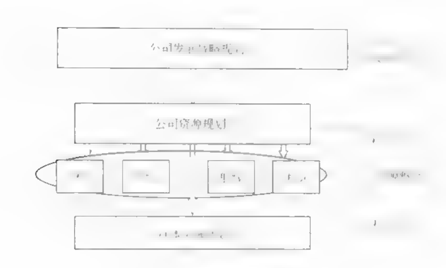


图 2-9 航空公司战略规划层次

2.6 航空公司经营仿真系统动力学模型的建立

基于以上对航空公司财务预测系统整体结构的分析，结合各因素之间的关系并根据系统动力学的建模要求，进一步构建整个系统下的各子系统。子系统的划分和各因素的选取参照一般的航空运输企业的管理模式、经营模式和财务核算模式。整个系统划分为：机队规划子系统、客与货流量子系统、人力资源子系统、固定资产子系统、存货子系统、资产负债子系统、收入成本子系统、现金流量子系统、所有者权益子系统。其中，各子系统根据需要分别建立各种变量的模型。在本节中，运用系统动力学专业语言并建立相应的数学方程进一步刻画系统中各变量之间的相互作用关系。

2.6.1 机队规划子系统

为了方便起见，在本系统中将航空公司的运营飞机分为A型飞机、B型飞机、C型飞机三类。这是依据飞机型号大小、载重量大

小和发动机的个数来分类的。一般来说，A型飞机指大型的带有双通道的宽体飞机，客机的座级在200座以上，并且通常具有两个以上发动机，多用于干线远程飞行。B型飞机指具有单通道，座级在100座以上，200座以下，带有两个发动机，主要用于执行中程干线飞行任务的飞机。C型飞机属于小型飞机，通常只有一个发动机，多用于支线航空。在机队规划子系统中，通过模型的建立来反映整个机队的规模和飞机的年龄结构。按照飞机划分为A、B、C三类的前提，进一步详细地划分为A型客机、A型货机、B型客机、B型货机、C型客机、C型货机。为了体现飞机的年龄结构设置了30个流位变量，每一个机龄阶段为一个流位变量。根据统计资料飞机的服役年龄当前最长能达到30年，因此在本系统中设置了30个流位变量。每年新增加的飞机包括两部分：一部分是用来提高运输能力而增加的飞机，也就是飞机引进计划中所确定的飞机引进数量；另外一部分指为了填补退役飞机带来的运力减少而需要引进的飞机。飞机的引进计划很难通过量化的方式来分析因素从而确定数量，同时，飞机的价值比较大，在分析飞机引进数量的时候不宜建立流位流率系，因此在本系统中，只能以设置表函数的形式来反映航空公司引进飞机的战略规划。

在本系统下变量比较多，按照飞机的分类在Vensim软件中共包括6个View。在这里为了简化仅以A型客机为例对模型进行说明，其他机型的模型结构类似。如图2-10所示，AK-1～AK-30指从1年机龄到30年机龄各机龄阶段的飞机数量。每过一年后，当前年龄阶段的所有飞机转入下一个年龄阶段，通过两个流位变量之间的流率变量delayAK来实现，从而让管理者能清楚地了解到每一个机龄阶段现有的飞机数量。同时，AKHY1～AKHY10这10个流率变量是用来反映航空公司飞机的退役情况，基于飞机的服役年龄，飞机退役的时间一般落在第20年到第30年之间，因此，设置了这10个流位变量，这样也同时让管理者清楚地了解到飞机的退役情况。

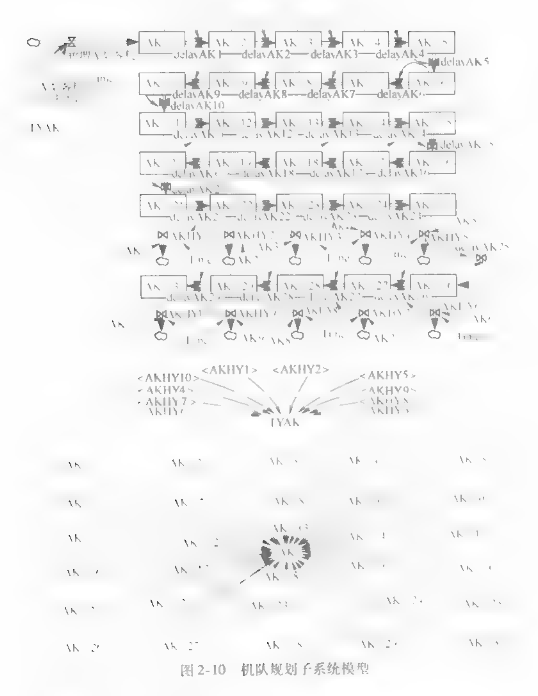


图 2-10　机队规划子系统模型

模型基本方程式如下：

(1)　新增A型客机 = A型客机引进计划（time）+ TYAK;

(2)　TYAK = AKHY1 + AKHY2 + AKHY3 + AKHY4 + AKHY5 +

AKHY6 + AKHY7 + AKHY8 + AKHY9 + AKHY10；

（3）AK—1 = INTEG（+新增A型客机 − delayAK1，初始值）；

（4）AK—n = INTEG（+delayAKn−1 − delayAKn+1，初始值），其中 n=2～20；

（5）AK—n = INTEG（+delayAKn−1 − AHHYn−20 − delayAKn+1，初始值），其中 n=21～30；

（6）AK = AK—1 + AK—2 + … + AK—30

2.6.2 客与货流量预测子系统

该系统反映航空公司的客运和货运流量变化，其系统动力学模型如图2-11所示。该系统中设置有累计客流量和累计货流量两个累计型流位变量，旅客流入率和货流率两个流率变量。该模型中流率变量是建立在初始流率的基础上进行变化的。其中货流率受到企业所在区域经济发展状况、航线累加长度变化的影响。区域经济发展

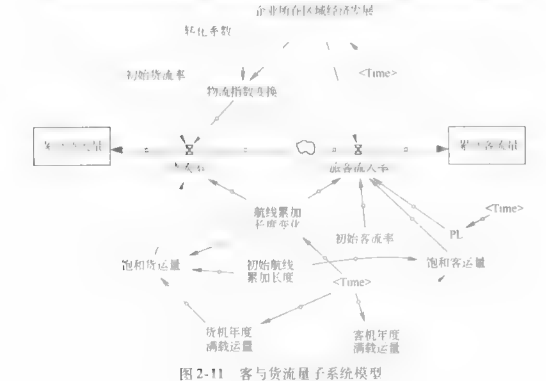


图2-11 客与货流量子系统模型

通过区域经济增长率来反映。航线累加长度影响因子指已开通的所有航线长度累加后其累加值每年的变化率。在计算客流率的时候增加一个因子PI（航运网点城市人口流量因子）。设置航线累加长度影响因子是出于对客流量和货流量的科学统计，采用吨·公里和人·公里为单位进行统计。再以计算出的客流率和货流率与考虑运输企业自身运输能力所确定的年度饱和货运量和客运量进行比较，取较小值为最终的客流率和货流率[21]。

模型基本方程式如下：

(1) 累计货流量 = INTEG（+货流率，累计货流量初始值）；

(2) 累计客流量 = INTEG（+旅客流入率，累计客流量初始值）；

(3) 饱和货运量 = 航线累加长度变化(Time) * 初始航线累加长度 * 货机年度满载运量（Time）；

(4) 饱和客运量 = 航线累加长度变化(Time) * 初始航线累加长度 * 客机年度满载运量（Time）；

(5) 物流指数变化 = 企业所在区域经济发展(Time) * 转化系数；

(6) 货流率 = IF THEN ELSE（饱和货运量 > 初始货流率 * 航线累加长度变化（Time） * 物流指数变化，初始货流率 * 物流指数变化 * 航线累加长度变化（Time），饱和货运量）；

(7) 旅客流入率 = IF THEN ELSE（饱和客运量 > 初始客流率 * 物流指数变化 * 航线累加长度变化（Time） * PI（Time），初始客流率 * 物流指数变化 * 航线累加长度变化（Time） * PI（Time），饱和客运量）。

2.6.3 人力资源子系统

航空运输业是一个资本、劳动、科技密集的行业。从世界范围来看，劳动力成本平均是航空公司全部成本的三分之一。因此对于航空运输企业来说，人力资源系统的变化对经营状况的各指标

有很大的影响。在人力资源子系统中按照劳动力的性质和工作的岗位，分别设立了飞机维护人员、地勤人员、空乘人员、机组人员、销售人员和管理人员六个流位变量来反映航空运输企业的在职员工状况。飞机维护人员主要包括对飞机和部件定期检修和不定期维修的所有工作人员。该变量主要受到飞机维护工作量的影响，而飞机维护工作量的改变受飞机数量的影响，飞机维护工作量以人·小时为单位计算。地勤人员主要指地面上针对旅客及货运服务的人员，航班次数的变化成为影响地勤人员数量的主要因素。机上服务人员包括飞行中餐饮服务人员、空保、乘务员，该流位变量和机组人员一样受航班次数和轮班工作规定的影响。销售工作人员与所设立的销售终端数量有关。管理人员与运输生产的直接接触小，其数量相对稳定，一般来说随公司的规模变化和结构调整而改变。所有以上流位变量的流出率与公司员工的年龄结构有很大关系，随着时间的推移会产生退休人员，同时在流入率中，除了受到经营规模变化而需要新增的员工以外，还存在填补退休岗位的人员。在本系统的模型中，PA为标准有效个人年度维护工作量，变量中带有ty字母为退休人员数量，其中ty1表示男性退休人员，ty2表示女性退休人员。AT、BT、CT表示各种机型需要的维护工作量，以人·小时为单位。JA、JB、JC为各机型需要的标准机组人员数量。KA、KB、KC为各类客机需要的标准空乘人员数量。整个系统如图2-12所示。

模型基本方程式如下：

(1) 新增销售人员 = 单个终端人数 * 新增定点销售终端(Time) + Xty1 + Xty2;

(2) 新增管理人员 = 新增管理岗位(Time) + Gty1 + Gty2;

(3) 新增地勤人员 = 新增航空港口数量(Time) * 港口基本地勤人数 + Dty1 + Dty2;

(4) 新增飞机维护人员 = (新增A型飞机 * AT + 新增B型飞机 * BT + 新增C型飞机 * CT) /PA + Fty1 + Fty2;

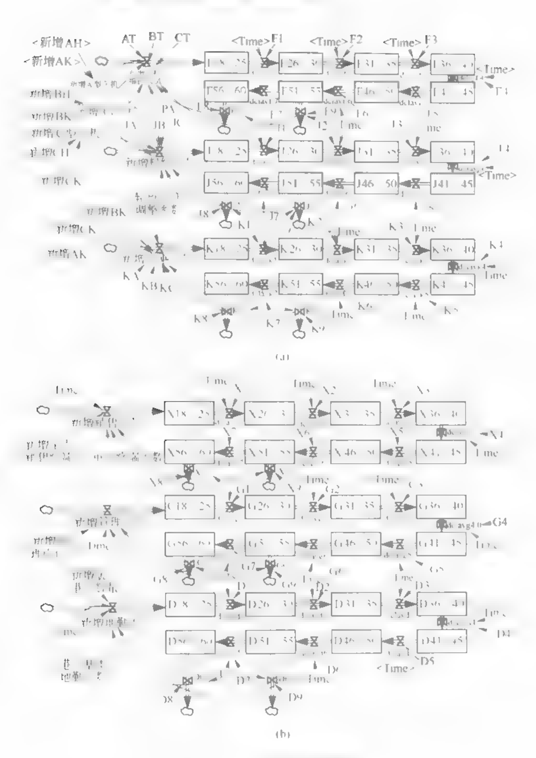


图 2-12 人力资源子系统模型

（5）新增机组人员 =（新增A型飞机 * JA + 新增B型飞机 * JB + 新增C型飞机 * JC）* 轮班工作调整系数 + Jty1 + Jty2；

（6）新增空乘人员 =（新增AK * KA + 新增BK * KB + 新增CK * KC）* 轮班工作调整系数 + Kty1 + Kty2；

（7）F18_25 = INTEG（新增飞机维护人员 - delayf1，初始值）；

（8）Fn_n+4 = INTEG（delayfm+1 - delayfm，初始值），其中 n=26、31、36、41、46、56，m=1，2，3，…，8；

（9）F51_55 = INTEG（delayf6 - delayf7 - delayf9，初始值）；

（10）J18_25 = INTEG（新增机组人员 - delayj1，初始值）；

（11）Jn_n+4 = INTEG（delayjm+1 - delayjm，初始值），其中 n=26、31、36、41、46、56，m=1，2，3，…，8；

（12）J51_55 = INTEG（delayj6 - delayj7 - delayj9，初始值）；

（13）K18_25 = INTEG（新增空乘人员 - delayk1，初始值）；

（14）Kn_n+4 = INTEG（delaykm+1 - delaykm，初始值），其中 n=26、31、36、41、46、56，m=1，2，3，…，8；

（15）K51_55 = INTEG（delayk6 - delayk7 - delayk9，初始值）；

（16）X18_25 = INTEG（新增销售人员 - delayx1，初始值）；

（17）Xn_n+4 = INTEG（delayxm+1 - delayxm，初始值），其中 n=26、31、36、41、46、56，m=1，2，3，…，8；

（18）X51_55 = INTEG（delayx6 - delayx7 - delayx9，初始值）；

（19）G18_25 = INTEG（新增管理人员 - delayg1，初始值）；

（20）Gn_n+4 = INTEG（delaygm+1 - delaygm，初始值），其中 n=26、31、36、41、46、56，m=1，2，3，…，8；

（21）G51_55 = INTEG（delayg6 - delayg7 - delayg9，初始值）；

（22）D18_25 = INTEG（新增地勤人员 - delayd1，初始值）；

(23) Dn—n+4 = INTEG (delaydm+1 - delaydm, 初始值), 其中 n=26、31、36、41、46、56, m=1, 2, 3, …, 8;

(24) D51—55 = INTEG (delayd6 - delayd7 - delayd9, 初始值)。

2.6.4 固定资产子系统

对于多数航空公司来说，购买飞机支付的费用是一笔巨大的财务开支，航空公司多采用租赁的方式取得飞机的使用权利，其中特别以融资租赁较为常见。本书在航空公司自购与租赁飞机相结合的假设前提下研究航空公司的运营，因此航空公司的固定资产价值在总资产中占到很大的比例。对于航空公司来说，主要的价值比较大的固定资产包括飞机和各种备用发动机，这两类固定资产对航空运营企业经营的影响有着举足轻重的作用。在固定资产的子系统中对固定资产详细的刻画也主要是针对飞机和备用发动机。在该系统模型中设有备用发动机净值、飞机净值、其他固定资产、固定资产累计折旧、计提发动机年折旧额、计提飞机年折旧额6个流位变量，如图2-13所示。飞机折旧的计算以机型分类进行核算，其中A型和B型飞机按照百吨及以上起飞全重折旧率进行计算，C型飞机按照百吨以下起飞全重折旧率计算。

模型基本方程式如下：

(1) 计提发动机年折旧额 = INTEG (新增发动机年折旧额 - 到期免提发动机折旧 (Time), 初始值);

(2) 备用发动机净值 = INTEG (新增发动机价值 - 计提发动机年折旧额 - 发动机报废回收残值 (Time), 初始值);

(3) 新增飞机年折旧额 = (A型客机引进 + A型货机引进) * A型飞机价值估计 * 百吨及以上起飞全重折旧率 + (B型客机引进 + B型货机引进) * B型飞机价格估计 * 百吨及以上起飞全重折旧率 + (C型客机引进 + C型货机引进) * C型飞机价值估计 * 百吨以下起飞全重折旧率;

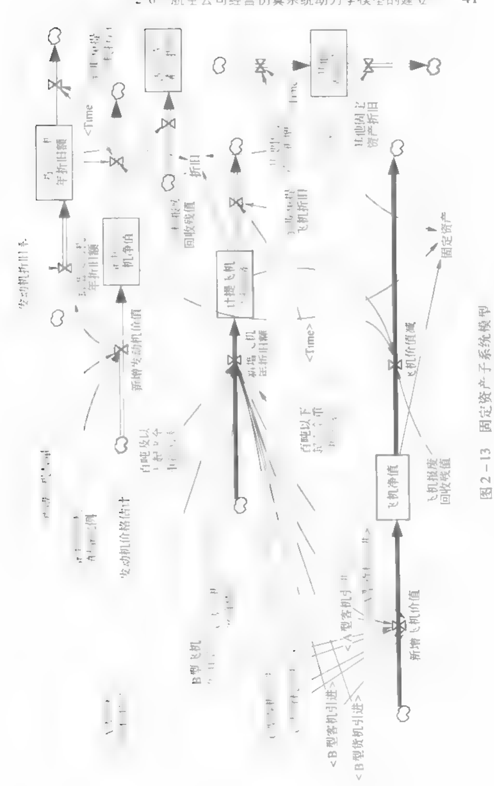


图 2-13 固定资产子系统模型

（4）计提飞机年折旧额 = 新增飞机年折旧额 - 到期免提飞机折旧（Time）；

（5）飞机净值 = INTEG（新增飞机价值 - 飞机价值减少，初始值）；

（6）其他固定资产 =（其他固定资产扩增加（Time）+ 其他固定资产折旧（Time），初始值）；

（7）折旧 = 其他固定资产折旧 + 计提发动机年折旧额 + 计提飞机年折旧额；

（8）固定资产累计折旧 = INTEG（ + 折旧，初始值）

2.6.5　存货子系统

航空公司的存货和一般的企业不一样，一般生产或商品贸易企业的存货主要是用来销售的，持有存货的目的是变现，而航空运输企业持有的存货主要目的不是变现而是服务于航空运输生产。存货中储存的航空器材在价值上和数量上都占有相当大的比例。飞机运行所需要的各种器材包括备用器材种类繁多，大体来说航空器材可分为周转件和消耗件。除此之外，航空公司还要定期采购机上（主要是客机）旅客服务供应品，这部分存货相对来说价值比较低，对于国内一些低成本航空公司甚至取消或者尽量减少。在存货子系统中只设置了航材消耗件库存、低价周转件库存、机上供应品库存三个流位变量，如图2-14所示。航空器材的库存受机队规模、数量的影响，机上供应品主要受到各运航班变化的影响[3]。

模型基本方程式如下：

（1）航材消耗件库存 = INTEG（消耗件采购 - 消耗件减少，初始值）；

（2）消耗件采购 = 机队扩增调整 * 消耗件月采购 * 12；

（3）消耗件减少 = ZA * A 型年度标准消耗 + ZB * B 型年度标准消耗 + ZC * C 型年度标准消耗；

（4）低价周转件库存 = INTEG（周转件采购 - 周转件价值减

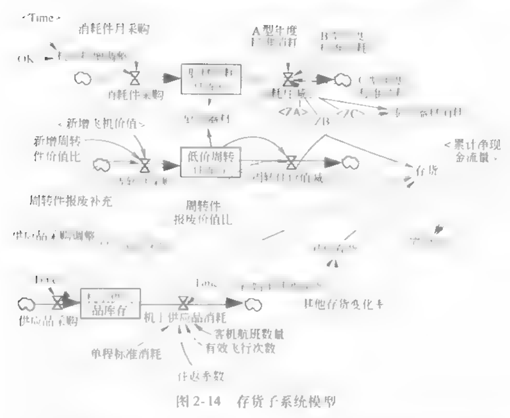


图 2-14　存货子系统模型

少，初始值）；

（5）周转件采购＝新增周转件价值比 * 新增飞机价值 + 周转件报废补充；

（6）周转件价值减少＝低价周转件库存 * 周转件报废价值比；

（7）机上供应品库存＝INTEG（供应品采购－机上供应品消耗，初始值）；

（8）供应品采购＝12 * 供应品月采购 * 供应品采购调整（Time）；

（9）机上供应品消耗＝客机航班数量（Time）* 往返系数 * 有效飞行次数 * 单程标准消耗

2.6.6　资产负债子系统

航空运输企业的资产明细项目比较多，其中固定资产和存货所

占的比重很大，主要体现在两个方面：一是其交通运输工具价格昂贵，占用的资本比较大，国内大部分航空公司都采用租赁的方式取得；二是对飞机进行维护的设施、设备、备用发动机、各类航空周转件、航空材料储备占用资金量大。这些是航空运输企业的运营需要较大资本的原因。资产子系统中按照会计原则并结合航空运输企业自身的特点分别对飞机、备用发动机、机动车辆现金流量、建筑物和各类应收账款进行预测。除各类应收账款以外的其他变量在资产模型的子模型中反映。各航空运输企业的负债子系统相对简单一点，在模型中以长期负债和短期负债进行描述，设负债为流位变量，如图2-15所示。

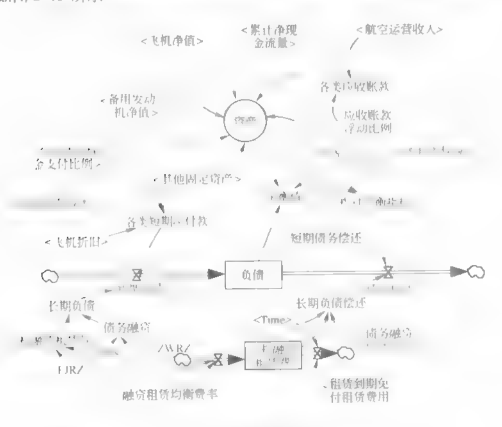


图2-15　资产负债子系统

模型基本方程式如下：

(1) 资产 = 飞机净值 + 其他固定资产 + 各类应收账款 + 备用发

动机净值+存货+累计净现金流量;

(2) 负债=INTEG(+新增负债-债务偿还, 负债初始值);

(3) 新增负债=各类短期应付款+长期负债;

(4) 各类短期应付款=(航空运营成本-飞行折旧)*(1-经营活动现金支付比例);

(5) 长期负债=飞机融资租赁款+债务融资款;

(6) 债务偿还=短期债务偿还+长期负债偿还;

(7) 长期负债偿还=飞机融资租赁费(Time)+到期偿还融资款;

(8) 飞机融资租赁费=INTEG(+飞机融资租赁款*融资租赁均摊费率-租赁到期免付租赁费用(Time), 飞机融资租赁费初始值)

2.6.7 收入成本子系统

航空运输企业收入来源主要包括两大块,即客运收入和货运收入。部分航空公司还包括航空邮件的收入,航空货运也存在以客机腹仓的形式进行运输。为了研究方便起见,本书将不考虑这两种情况,客、货运输实行独立核算。在本系统中不存在流位变量,这主要是和会计系统中要求收入和成本账户年末转入本年利润而不留余额相对应。本系统中所有的变量最终归集到航空运营收入和航空运营成本两个变量(图2-16),也即是会计中的主营业务收入和主营业务成本。其中客运收入和货运收入又分别分A、B、C机型进行核算,客运量单位为人·公里,货运量单位为吨·公里,航线的长度以各机型所分配的折中长度为准。同时客运量还受到客座率的影响,货运量受到载运率的影响,人·公里和吨·公里运输价格受市场价格波动率的影响。航空运营的成本相对收入更加复杂,影响的因素和成本类别众多,主要的成本包括:飞行成本、旅客服务成本、维修成本、机场服务成本、飞机保险费用,其中又以飞行成本所占的比例最大。飞行成本是与飞机飞行有关的直接成本,包括机组成本、

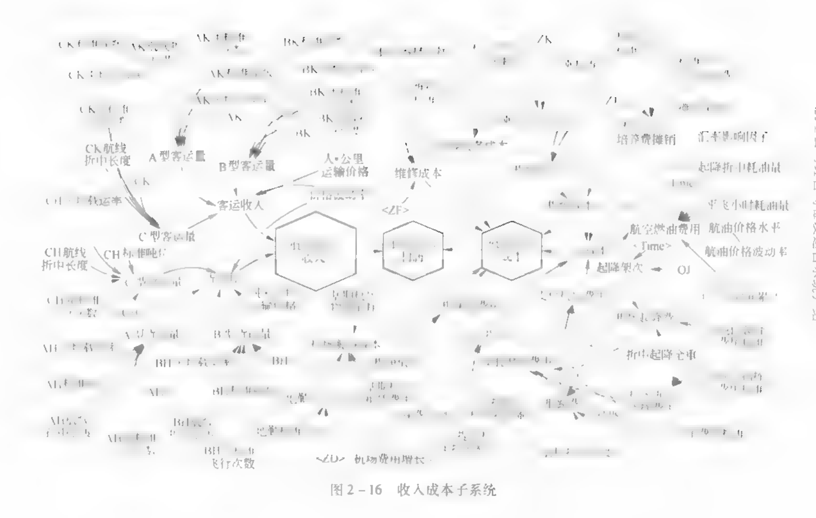


图2-16 收入成本子系统

航空燃油费用、支付机场费用和飞行折旧。航空燃油费用比例较大，占航空运营成本的40%以上，这也是航空公司易受油价波动影响的原因所在。在对飞机耗油量的核算中以飞行时间为标准计算，由于飞机的耗油量还受到飞行状态的影响，所以对起降过程和平飞过程分别进行核算，飞机耗油量受起降架次和平飞时间的影响。

模型基本方程式如下：

(1) 航空运营收入 = 客运收入 + 货运收入；

(2) 客运收入 = (A 型客运量 + B 型客运量 + C 型客运量) * 人·公里运输价格 * 价格波动率；

(3) 货运收入 = (A 型货运量 + B 型货运量 + C 型货运量) * 吨·公里运输价格 * 价格波动率；

(4) 航空运营成本 = (旅客服务成本 + 机场服务成本 + 维修成本 + 飞机保险费用 + 飞行成本) * 油价影响因子；

(5) 飞行成本 = 支付机场费用 + 机组成本 + 航空燃油费用 + 飞行折旧；

(6) 机组成本 = 机组人员工资 + 机组人员培养费摊销；

(7) 航空燃油费用 = (年平飞小时耗油量 * 年平飞时间累计 Time + 起降行中耗油量 * 起降架次) * 航油价格水平 * 航油价格波动率；

(8) 支付机场费用 = 机场起降费 + 机场进近指挥费用 + 航路费 + 夜航附加费用；

(9) 旅客服务成本 = 机上供应品消耗 + 空乘人员工资；

(10) 维修成本 = 维护人员标准工资 * ZF + 航空器材消耗；

(11) 机场服务成本 = 地勤人员工资 + (基期机场物资消耗 + 基期机场租赁费用) * (1 + 机场费用增长率)；

(12) 飞机保险费用 = 保费比例 * 飞机净值；

(13) 航空运营利润 = 航空运营收入 - 航空运营成本

2.6.8　现金流量子系统

本系统设有累计净现金流量一个流位变量（图2-17），反映企业在一个时间点的现金存量情况，受现金流入和现金流出两个流率变量的影响。现金流入包括经营活动现金流入、资本扩充现金流入、固定资产回收。现金流出包括经营活动现金流出、投资活动现金流出、偿还债务现金支付、分派股东现金。

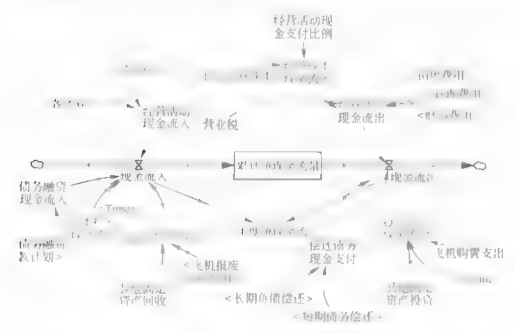


图2-17　收入成本子系统

模型基本方程式如下：

（1）现金流入＝固定资产回收＋经营活动现金流入＋债务融资＋资本扩充现金流入（Time）；

（2）现金流出＝偿还债务现金支付＋投资活动现金流出＋经营活动现金流出＋分派股东现金；

（3）经营活动现金流出＝管理费用＋经营成本现金流出＋支付税金＋销售费用＋财务费用；

（4）投资活动现金流出＝飞机购置支出（Time）＋其他固定资

产投资；

（5）偿还债务现金支付 = 短期债务偿还 + 长期负债偿还；

（6）分派股东现金 = 现金分配比 * 股利分配；

（7）累计净现金流量 = INTEG（ + 现金流入 − 现金流出，累计净现金流量初始值）；

（8）年度净现金流 = 现金流入 − 现金流出

2.6.9 所有者权益子系统

该子系统中设有未分配利润、实收资本、资本公积和盈余公积四个流位变量，如图2-18所示。该系统中各变量的变化关系和系统结构主要是依照会计核算标准进行设置的。年末所有收入和成本类账户都转入利润分配账户，该子系统反映了航空公司经营成果的分配状况和流程。

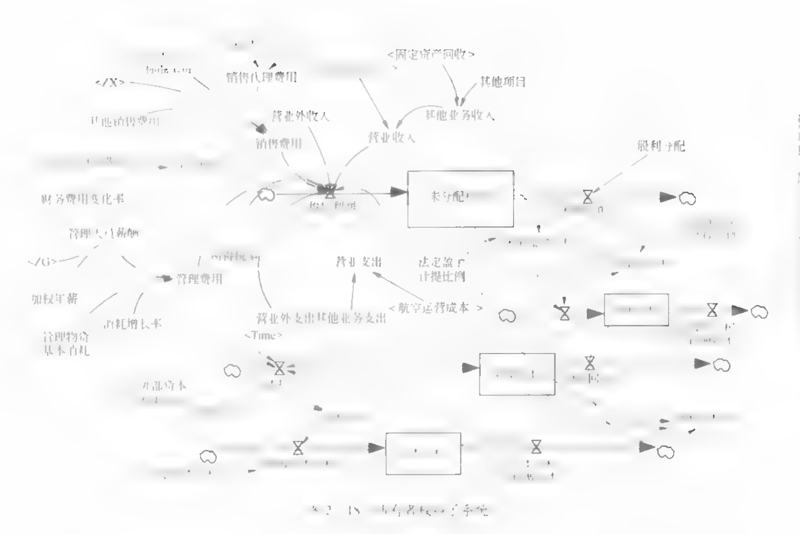
模型基本方程式如下：

（1）税后利润 = 营业收入 − 营业支出 + 营业外收入 − 营业外支出 − 财务费用 − 销售费用 − 管理费用 − 营业税金及附加；

（2）未分配利润 = INTEG（ + 税后利润 − 利润分配，未分配利润初始值）；

（3）盈余公积 = INTEG（ + 法定盈余公积 + 任意盈余公积 − 盈余公积转增资本，盈余公积初始值）；

（4）实收资本 = INTEG（ + 资本扩充 − 股份回购，实收资本初始值）


<固定资产回收>
其他项目
销售代理费用
</X>
其他销售费用
营业外收入
其他业务收入
营业收入
销售费用
股利分配
未分配
财务费用变化率
管理人员薪酬
</G>
管理费用
营业支出
加权年薪
<航空运营成本>
营业外支出
其他业务支出
消耗增长率
管理物资
基本消耗
<Time>

3

航空公司运营仿真模型应用案例

基于上一章中建立的航空公司经营仿真模型各子系统，本章将重点整合各子系统模块，构造完整的航空公司整体运营模型。在本章中结合国内某航空公司的经营概况，将实际有关数据导入运营模型，并在此基础上不断优化模型的相关参数，通过历史经营数据与仿真结果进行比较，最后得出优化的运营仿真模型。模型的计算机仿真结果最后汇集到相关的财务经营指标和运营管理指标，结合仿真起点实际状况做出航空公司未来五年的经营状况和规模的预测。

3.1 样本企业基本概况

国内A航空公司，总部地处国内某大型城市，成立于1985年，现拥有员工7640人，航空运输网络线路布局采取中枢辐射（hub-spoke-system，HSS），国际国内航空网络分布点总计30个，航空运输业务主要集中在国内。A航空公司始终以“安全第一、旅客至上、优质服务、两个信誉”为经营宗旨，以把A航空公司办成国内最好、旅客首选的航空公司为战略目标。A航空公司现已拥有11架波音757-200客机、6架波音767-300客机、6架波音737-700客机、5架波音737-800客机、8架CRJ-200客机、1架豪客（HAWKER）800XP公务机、12架波音737-300全货机，各类飞机总共49架的机队规模。目前，A航空公司已开营了100多条国内航线，以及上海至澳门定期航班的良好运营和开辟金边、海参崴、胡志明市定期航班，东南亚国际包机业务的开展，证明了A航空公司经营的总体实力

公司以其良好的安全记录、高质量的服务水准和先进的企业文化和卓有成效的经营管理，取得了较好的经济效益和社会效益。2000年11月1日，经所在市人民政府和民航总局批准，A航空公司整体改制更名为A航空股份有限公司，并且积极做上市前的准备。2001年，A航空公司与5家航空公司组建了中大航空企业集团。A航空公司与国航、南航已在常旅客制、代号共享方面分别实现了业务合作。

3.2 模型的基本假设及参数估计

3.2.1 基本模拟假设

在建立A航空公司运营仿真模型的过程中，主要进行了以下几个方面系统性的假设：

（1）航空公司主要经营产品为运输生产服务，暂不考虑与旅行相关的其他服务类项目，资金的变化不受其他业务和营业外收支影响；

（2）航空公司飞机的引进方式主要以租赁和自购的方式进行，租赁方式以融资租赁为主，暂不考虑经营性租赁；

（3）航空运输收入的核算绕开差别化产品单价，运用收益管理原理，按照运输周转量的平均单位收益和周转总量发生额核算；

（4）机队规划按照飞机起飞全重和座级划分机型，并按照机型差别化评估飞机价值；

（5）考虑航空运输生产中航班延误和各种偶然时间的发生；

（6）没有从事短期投资业务和对外长期投资业务；

（7）对于年度内其他业务发生额和营业外收支额暂不考虑，相关数据以零计算；

（8）以2007年度资料为模拟初始值，模拟期间为2008年至2012年。

3.2.2 模型基本模拟参数估计

建立了航空运营企业系统动力学模型以后，在进行计算机仿真之前，需要确定模型中方程式的所有参数，这些参数包括常量、表函数、流位变量初值等。通过调查搜集所需的数据资料，利用专业知识，在往年的统计数据基础上，运用统计方法、预测技术、会计方法及其他数学方法对模型参数进行估计。有些参数的取值是根据对航空企业经营数据收集而来，有些参数是通过模拟实验法来确定的，有些参数是经过合理的估计而得到的。

3.2.2.1 常量参数

为简化模型参数，对那些随时间变化不甚显著的参数近似取为常数值，见表3-1。

表3-1 主要常量参数值

变量名	变量值	单位
维修人员有效工作量（PA）	2 500	hour
单个终端人数	5	人
港口基本地勤人数	120	人
发动机折旧率	0.085	Dmnl
备用发动机配备比例	1.5	Dmnl
百吨及以上起飞全重折旧率	0.095	Dmnl
百吨以下起飞全重折旧率	0.063	Dmnl
发动机价格估计	352 450 000	元/year
A型年度标准消耗	4 512 330	元/year
B型年度标准消耗	4 012 320	元/year
C型年度标准消耗	3 512 340	元/year
新增周转件价值比	0.05	Dmnl
周转件报废补充系数	1.5	Dmnl
供应品月采购	1 524 710	元/month
人·公里运输价格	0.72	元/人·公里

续表 3-1

变量名	变量值	单位
吨·公里运输价格	1.55	元/（吨·公里）
周转件报废价值比	0.21	year
应收账款浮动比例	0.005	Dmnl
CK 标准座级	100	座
AK 标准座级	400	座
BK 标准座级	250	座
AH 标准吨位	150	t
BH 标准吨位	100	t
CH 标准吨位	65	t
往返系数	2	Dmnl
有效飞行次数	130	time
A 型航线折中长度	12 000	km
B 型航线折中长度	7 200	km
C 型航线折中长度	3 100	km
AK 平均上座率	0.75	Dmnl
BK 平均上座率	0.7	Dmnl
AH 平均载运率	0.72	Dmnl
BH 平均载运率	0.7	Dmnl
CH 平均载运率	0.6	Dmnl
基期机场物资消耗	145 621 000	元
融资租赁均衡费率	0.08	Dmnl
单程标准消耗	1 685	元/line
保费比例	0.05	Dmnl
公里费用标准	0.4	元
吨位起降费用标准	8	元/吨
经营活动现金支付比例	0.985	Dmnl
航油价格水平	6 175	元/吨
起降折中耗油量	5.5	t
所得税率	0.33	Dmnl

续表 3-1

变量名	变量值	单位
标准飞行人员培养费	1 853 200	元/人
初始年财务费用	25 313 300	元
管理物资基本消耗	9 564 320	元
机场费用增长率	0.05	Dmnl
CA 平均上座率	0.65	Dmnl
维护人员标准工资	82 410	元/年
吨位指挥费用标准	16	元/吨
折中起降全重	315	t
地勤标准工资	4 213	元/年
平飞小时耗油量	4.1	t
摊销年限	10	year
代理费率	0.008	Dmnl
[illegible]	53 240	[illegible]
溢价比	0.004 5	Dmnl
法定盈余计提比例	0.1	Dmnl

3.2.2.2 表函数

本模型中表函数较多，可有效地处理系统变量之间的非线性关系问题。它们在确定时主要依照以下原则：

第一，根据航空公司实际背景和获得数据的难易程度以及灵敏度、精确度的要求确定主变量变化范围及取值范围；

第二，建立表函数时大致要考虑曲线的斜率与形状，一个或一个以上的特殊点供参考；

第三，设置曲线的斜率，使之与其所表示的影响的性质相吻合，负值斜率代表负反馈，正值斜率代表正反馈

第四，选择曲线的形状，小心确定在极端条件下和曲线中部的斜率与曲率的值，曲线趋于平坦的部分对应于影响减弱与饱和的情

况，而陡急升降的部分对应于影响与效应增强的情况。

需要说明的是，本章表函数的功能运用对模型不仅用于对变量的描述，同时对模型中相关变量之间运算的转换也起到了很大的作用，特别是在人力资源模型中，通过表函数的运用更好的描述了在各年龄阶段流位变量中人员的转移，这种运用解决了模型中变量步长和模型模拟步长不一致的矛盾。

1 各种机型的扩增计划 飞机的扩增计划是航空公司管理决策机构根据空运市场需求的变化，航线的开辟情况，结合企业的财力和融资能力而制定的，在很大程度上影响到航空公司未来的资本投入和航空业务量的变化。各年飞机购置或租赁的数量、型号既要结合航空公司的运量投放计划，又要以实际的飞机购置或租赁的合同为依据进行确定，比如A型客机的扩增计划为[(0，0)-(10，10)]，(1，1)，(2，2)，(3，0)，(4，1)，(5，1)，如图3-1所示。各机型扩增数量见表3-2。

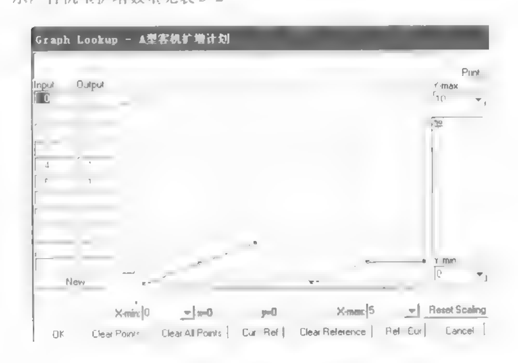


图3-1 A型客机扩增计划

表 3-2 未来 5 年飞机扩增计划

年份 \ 机型	A 型飞机	B 型飞机	C 型飞机	合 计
第一年	1 架（租赁 K） 1 架（自购 H）	1 架（租赁 K） 1 架（自购 H）	1 架（自购 K）	5 架
第二年	3 架（租赁 K）	0	1 架（自购 K）	4 架
第三年	2 架（自购 H）	2 架（自购 K）	[illegible]	4 架
第四年	[illegible] 架（租赁 K）	3 架（租赁 K）	2 架（自购 H）	6 架
第五年	2 架（自购 K）	1 架（自购 H）	0	3 架
合 计	10 架	8 架	4 架	22 架

2. 飞机购置支出。各机型价格存在差异，因此在对变量飞机购置支出变量进行插值时采用逐个累加的方式核算，根据飞机的扩增计划和合同的价格协议来确定飞机价格购置支出，在很难准确量化的情况下参考市场价格采用估算的方式核价。飞机购置支出表函数为（0,0），（10,8e+008），（0,1.32146e+009），（1,1.42146e+009），（2,1.1413e+009），（3,1.23145e+009），（4,1.1613e+009），（5,1.9143e+009），如图 3-2 所示

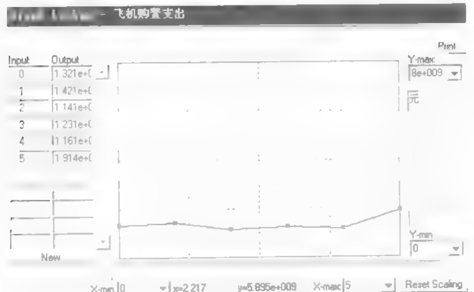


图 3-2 飞机购置支出

3）其他各类表函数 其他各类表函数包括债务融资计划、随时间推移各年龄阶段员工的转移人数、飞机起降架次、航程折中长度等等。

3.2.2.3 流位变量初始值

1）各年龄阶段员工数量初始值见表3-3

表3-3 初始年度人力资源概况 单位：人

员工＼年龄	18~25	26~30	31~35	36~40	41~45	46~50	51~55	56~60	合计
机组人员	35	31	55	73	71	51	41	30	387
机务维修人员	64	235	262	419	430	384	241	98	2 333
空乘人员	581	385	213	174	75	62	19	23	1 532
销售人员	114	98	125	175	163	60	47	30	812
管理人员	2	35	65	86	83	97	42	29	458
地勤人员	218	325	326	361	354	197	258	279	2 318
合计									7 840

（2）分类机型各机龄阶段初始值见表3-4

表3-4 初始年度机队概况 单位：架

概况	机型	A型	B型	C型	合计
机龄	0~1年	1（租赁H）	0	1（自购K）	2
	1~2年	0	2（自购K）	0	2
	2~3年	0	0	1（租赁H）	1
	3~4年	2（租赁K）	1（租赁H）	0	3
	4~5年	0	3（租赁K）	0	3
	5~6年	5（租赁K）	0	1（自购H）	6
	6~7年	0	0	0	0
	7~8年	0	3（自购K）	2（租赁K）	5
	8~9年	1（自购H）	0	0	1
	9~10年	0	0	0	0
	10~11年	0	0	1（自购H）	1
	11~12年	0	4（租赁K）	0	4

续表 3-4

概况	机型	A 型	B 型	C 型	合 计
机龄	12~13 年	0	0	0	0
	13~14 年	0	1（自购 H）	0	1
	14~15 年	2（自购 K）	0	0	2
	15~16 年	0	0	0	0
	16~17 年	0	0	0	0
	17~18 年	2（自购 K）	2（租赁 H）	1（自购 H）	5
	18~19 年	0	0	0	0
	19~20 年	0	2（租赁 K）	0	0
	20~21 年	3（租赁 K）	0	0	3
	21~22 年	0	0	1（自购 K）	1
	22~23 年	0	1（自购 K）	0	2
	23~24 年	2（租赁 H）	0	0	2
	24~25 年	0	1（自购 K）	0	0
	25~26 年	0	0	1（自购 K）	3
	26~27 年	0	0	0	0
	27~28 年	0	0	0	0
	28~29 年	1（自购 K）	0	0	1
	29~30 年	0	1（租赁 K）	0	1
合 计	自购	6	8	6	20
	租赁	13	13	3	29
	合计（H）	4	4	4	12
	合计（K）	15	17	5	37
	总计	19	21	9	49

（3）其他流位变量初始值见表 3-5。

表 3-5 其他流位变量初始值

[illegible]	初始值	[illegible]	初始值
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	654 235 533	[illegible]	356 424 174
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
计提发动机年折旧额	423 513 254	负债	13 302 879 943
备用发动机净值	2 531 433 241	飞机净值	9 786 555 337
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
计提飞机年折旧额	1 213 562 143		

3.2.3 模型有效性检验

3.2.3.1 边界检验

本模型中涉及的各种财务变量和非财务变量，从基本模拟产生的预计财务报表和预计财务指标可以看出，所研究的问题基本可以通过这些变量以及它们之间的相互关系体现出来，因此，可以认为所构造模型的边界与实际系统近似一致。

3.2.3.2 运行检验

从财务的角度出发来分析模型的结构是否合理，检验其仿真运行结果是否有效，主要可以通过平衡值的变化来检验。其中，平衡值=资产-负债-所有者权益。根据检验结果模型运行的基本误差较小，如图3-3所示。由此可以得出结论：资产负债表的资产总计等于负债与所有者权益总计，各类报表项目的数值具有合理性，模型与实际情况基本一致。

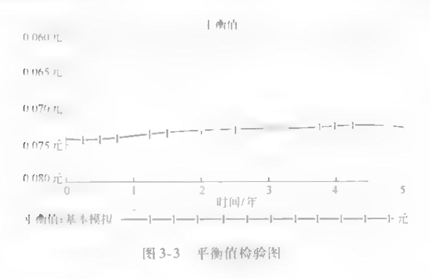


图3-3 平衡值检验图

3.2.3.3 历史检验

下面仅以2007年资产负债表对模型进行历史数据的有效性检

验、其他数据包括现金流量表、利润表、员工数量表的检验省略。基本模拟产生的资产负债表见表3-6。

表3-6 基本模拟产生的资产负债表

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
流动资产			
货币资金	540 963 265	542 963 265	-0.003 68
短期投资			
应收账款	104 576 213	106 576 212	-0.018 77
存货	846 415 145	836 415 145	0.011 956
其他流动资产			
流动资产合计	1 491 954 623	1 451 954 623	0.027 549
固定资产			
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
固定资产净值	13 674 717 319	13 374 717 319	0.022 43
无形及其他资产			
资产总计	15 166 671 942	15 366 671 942	-0.013 02
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
长期负债	8 196 051 321	8 596 051 321	-0.046 53
负债合计	13 680 839 667	13 880 839 667	-0.014 41
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
未分配利润	124 487 552	120 487 552	0.033 198
[illegible]	356 424 000	350 424 000	[illegible]
所有者权益合计	1 485 832 275	1 495 832 275	-0.006 69
负债和所有者权益总计	15 166 671 942	15 566 671 942	-0.025 7

从表3-6可见，2007年资产负债表各项目的相对误差均在±10%以内，故认为模型的仿真结果与实际情况近似吻合，说明模

型的基本结构能较好地反映该企业财务预测系统的实际系统。

3.2.4 仿真运行及分析

3.2.4.1 基本仿真运行结果

（1）航油费用、航空运营成本基本模拟曲线。通过模拟结果（图3-4）可以看出，航空燃油费用占航空公司航空运营成本的比例较大，模拟期间各年度占航空运营成本的比例基本维持在50%左右。同时从曲线走势可以看出，由于国际、国内油价的波动，航空燃油费用的波动幅度也较大，航空燃油费用模拟曲线的走势和航空运营成本曲线的走势大致接近，这也说明了航油费用及航油价格的波动对航空公司的运营成本影响作用较大。

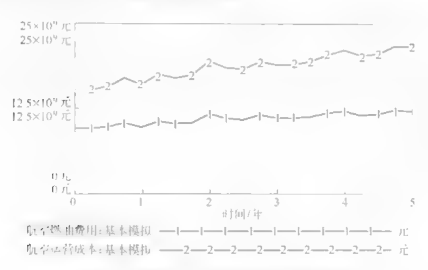


图3-4 航油费用、航空运营成本基本模拟图

（2）客运、货运收入基本模拟曲线比较。结合模拟曲线（图3-5）可以看出，该航空公司的货运收入在模拟期间增长速度比较快，这和国内航空运输市场当前货运需求增长的态势吻合，同时也是公司货运运力投放的结果。但是客运收入仍然占较大的比例，航空货运市场的发展空间仍然较大。

（3）航空公司各类员工数量基本模拟结果如图3-6所示。

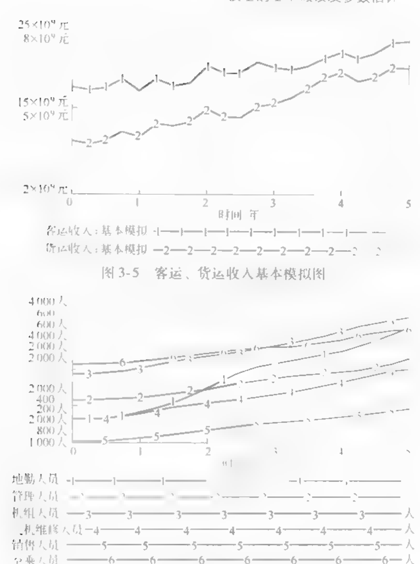


图 3-5　客运、货运收入基本模拟图

图 3-6　各类员工数量变化基本模拟图

（4）基本模拟产生的资产负债表（表 3-7）。

表 3-7　基本模拟产生的资产负债表

项目＼年份	2007	2008	2009	2010	2011
流动资产					
货币资金	540 963 265	591 952 133	635 552 322	699 282 315	676 774 124
短期投资					
应收账款	104 576 213	114 319 132	128 795 445	125 641 213	143 782 317

续表 3-7

年份 项目	2007	2008	2009	2010	2011
存货	846 415 145	940 712 319	1 150 194 568	1 247 745 465	1 351 416 512
其他流动资产					
[illegible]	1 491 954 623	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
固定资产					
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
无形及其他资产					
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	3 163 828 224	4 006 189 568	[illegible]	[illegible]
负债和所有者权益总计	[illegible]	[illegible]	19 279 822 389	[illegible]	[illegible]

（5）基本模拟产生的现金流量表（表 3-8）。

表 3-8 基本模拟产生的现金流量表

年份 项目	2007	2008	2009	2010	2011
一、经营活动产生的现金流量					
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	3 764 329 984	4 687 212 544	4 935 510 528	[illegible]	6 296 080 384

续表 3-8

项目＼年份	2007	2008	2009	2010	2011
其他经营活动现金流入					
现金流入小计	20 915 191 296	22 863 710 208	25 759 085 056	25 128 210 432	28 756 076 544
支付税金	2 345 118 976	2 398 886 400	2 907 150 080	2 720 180 736	3 301 411 328
经营成本现金流出	14 618 259 456	16 470 546 432	17 952 346 112	17 854 511 104	19 879 049 216
销售、管理、财务费用支出	241 943 776	265 741 824	292 769 952	289 367 136	321 531 296
现金流出小计	17 205 322 208	19 135 174 656	21 152 266 144	20 864 058 976	23 501 991 840
经营活动产生的现金流量净额	3 709 869 088	3 728 535 552	4 606 818 912	4 264 151 456	5 254 084 704
二、投资活动产生的现金流量					
处置固定资产回收现金	112 430	135 200	0	16 452	385 132
固定资产购置现金流出	1 421 459 968	1 141 299 968	1 231 449 984	1 161 299 968	1 914 299 904
投资活动产生的现金流量净额	1 421 347 538	1 141 164 768	1 231 449 984	1 161 283 516	1 913 914 772

续表3-8

项目 \ 年份	2007	2008	2009	2010	2011
三、筹资活动产生的现金流量					
资本扩充现金流入	520 000 000	350 000 000	400 000 000	620 000 000	540 000 000
债务融资现金流入	50 000 000	321 540 000	200 000 000	300 000 000	350 000 000
现金流入小计	670 000 000	671 540 000	600 000 000	920 000 000	890 000 000
债务偿还现金流出	822 571 904	988 131 072	1 158 307 840	1 410 319 104	1 384 754 560
利润分配现金流出	2 086 273 152	2 229 499 904	2 794 999 808	2 607 000 064	5 320 000 000
现金流出小计	2 908 845 056	3 217 630 976	3 953 307 648	4 017 319 168	6 704 754 560
筹资活动产生的现金流量净额	2 238 845 056	2 546 090 976	3 353 307 648	3 097 319 168	5 814 754 560

（6）基本模拟产生的利润表（表3-9）。

表3-9 基本模拟产生的利润表

项目 \ 年份	2007	2008	2009	2010	2011
一、主营业务收入	20 915 191 808	22 863 710 208	25 759 084 544	25 128 210 432	29 556 076 544
减：主营业务成本	17 840 871 936	19 721 367 040	21 225 731 584	21 126 407 680	23 981 776 384
主营业务税金及附加	627 455 754.2	685 911 306.1	772 772 536.3	753 846 315	862 682 296.5
二、主营业务利润	2 446 864 118	2 456 431 862	3 760 580 424	3 247 956 439	4 711 617 864

续表3-9

项目＼年份	2007	2008	2009	2010	2011
加：其他业务利润					
减：营业费用	191 681 536	209 219 696	234 482 688	230 [illegible] 696	26[illegible] 458 624
管理费用	23 683 284	28 930 626	29 683 228	30 230 532	30 709 240
财务费用	26 578 964	2[illegible] 591 498	28 604 028	28 350 896	29 363 428
营业利润	5 204 920 334	5 190 690 042	6 467 810 480	5 958 589 315	7 390 086 572
加：投资收益					
补贴收入					
营业外收入					
减：营业外支出					
利润总额	5 204 920 334	5 190 690 042	6 467 810 480	5 958 589 315	7 390 086 572
所得税	1 7[illegible] 623 710	1 [illegible] 92[illegible] [illegible]14	2 134 377 458	1 966 334 474	2 438 728 569
净利润	[illegible] 477 296 624	[illegible] 467 762 328	[illegible] 323 433 021	[illegible] 982 254 841	[illegible] 405 358 003

3.2.4.2 仿真结果分析

（1）资产负债率基本模拟曲线（图3-7）。航空运输行业属于资本密集型行业，固定资产数量巨大，资产负债率一般都偏高。该公司在未来五年的经营期限中，在机队扩张计划和经营利润积累的推动下，资本扩张迅速，筹资活动频繁，资产负债率呈现逐年下降的趋势。

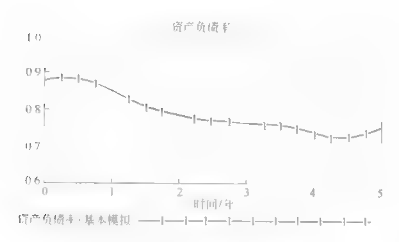


图 3-7 资产负债率基本模拟图

2. 资产收益率基本模拟曲线（图 3-8）。通过仿真模拟所得到的资产收益率和航空运输业的实际资产收益率比较接近，该公司的资产收益率呈稳步增长的趋势，从行业经营的角度来看，该指标水平能够反映出国内航空运输业的大致平均资产回报率。

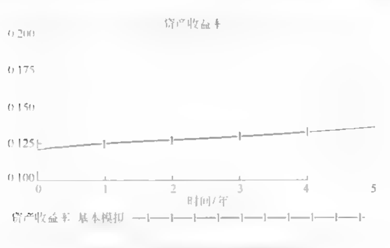


图 3-8 资产收益率基本模拟图

（3）航油价格变化对航空运营利润的灵敏度分析（图 3-9）

（4）上座率变化对航空运营利润的灵敏度分析（图 3-10）

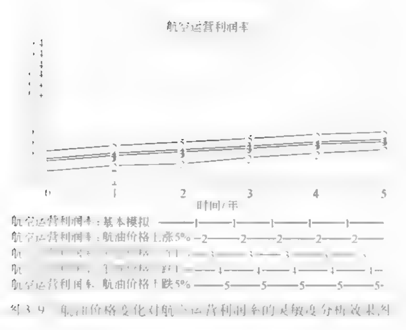


图3.9 航油价格变化对航空运营利润率的灵敏度分析效果图

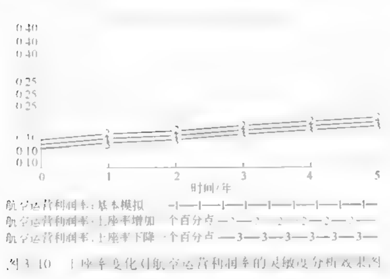


图3.10 上座率变化对航空运营利润率的灵敏度分析效果图

附录　本章案例全部系统流图

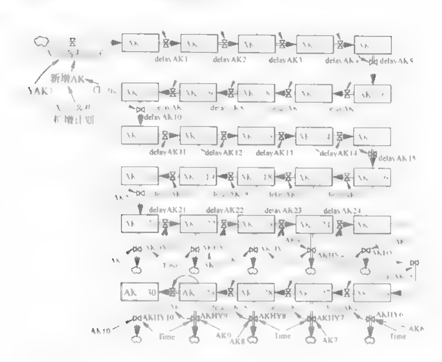


图 3-11

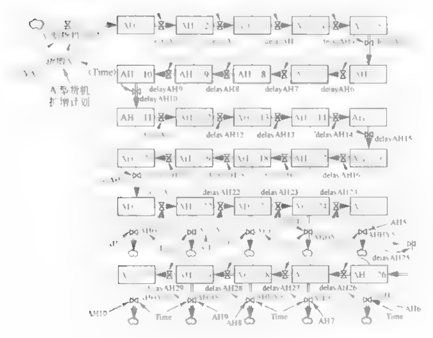


图 3-12

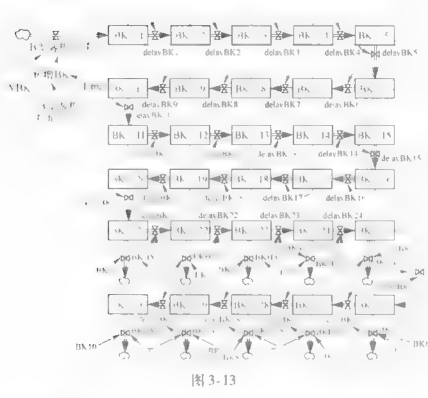

delayBK2
delayBK3
delayBK4
delayBK9
delayBK8
delayBK7
delayBK17
delayBK22
delayBK24

图 3-13

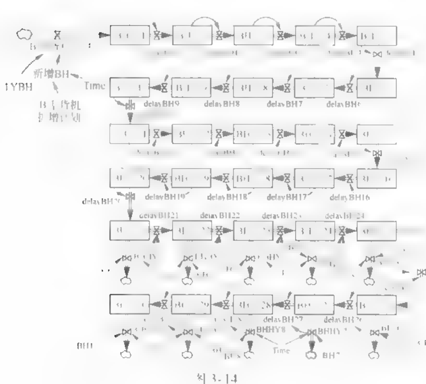
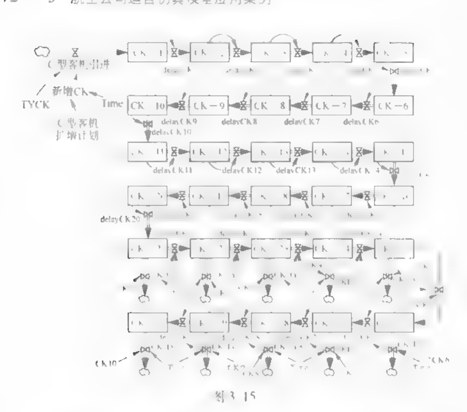

新增BH
Time
delayBH9
delayBH8
delayBH7
delayBH18
delayBH17
delayBH16
delayBH22
BHHY8
Time

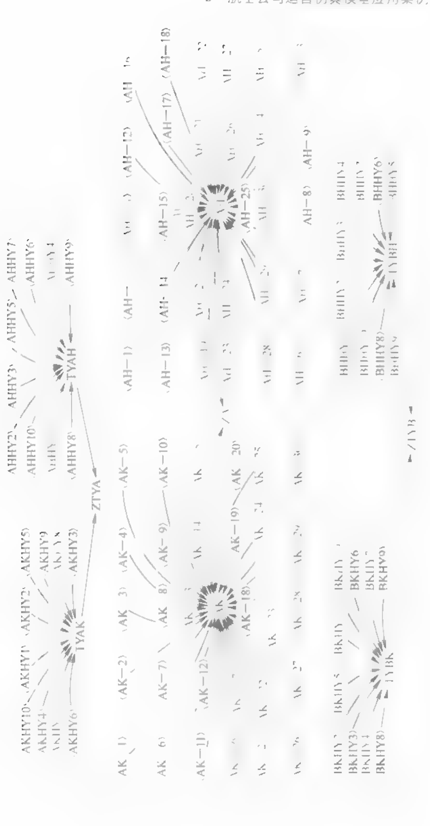
图 3-14



新增CK
TYCK
Time
CK-9
CK-7
CK-6
delayCK9
delayCK8
delayCK7
delayCK11
delayCK12
delayCK13
delayCK20

图3-15

图3-16


ZTYA
TYAK
TYAH
TYBK
TYBH

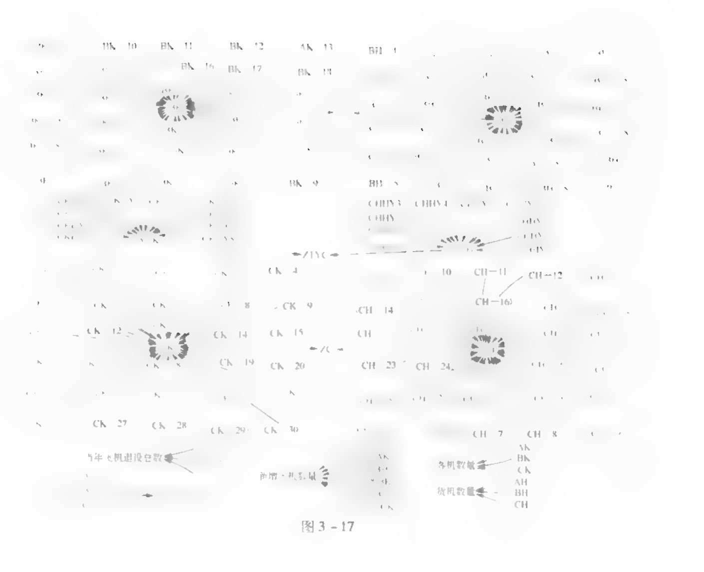

BK 10
BK 11
BK 12
AK 13
BH 1
BK 16
BK 17
BK 9
CH−11
CH−12
CH−16
CK 9
CH 14
CK 14
CK 15
CK 19
CK 20
CH 23
CK 27
CK 28
CH 7
CH 8
AK
BK
CK
AH
BH
CH
货机数量

图 3-17

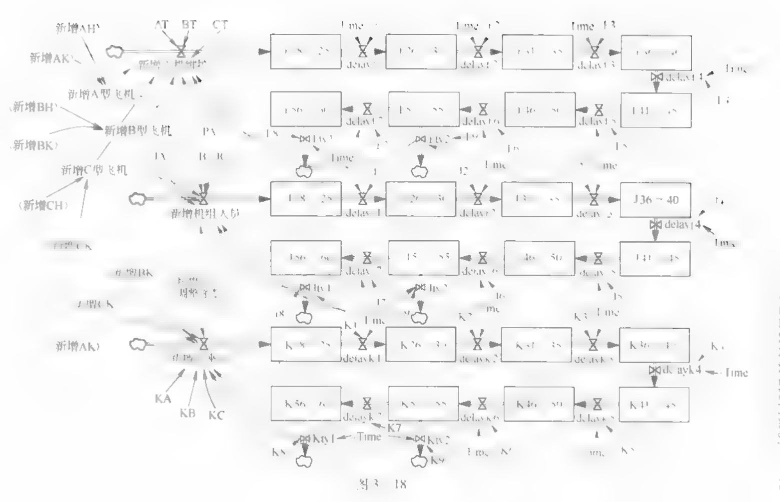

新增AH
新增AK
AT
BT
CT
新增A型飞机
新增BH
新增B型飞机
新增BK
新增C型飞机
新增CH
新增机组人员
J36～40
新增AK
KA
KB
KC
K7
Time

图3-18

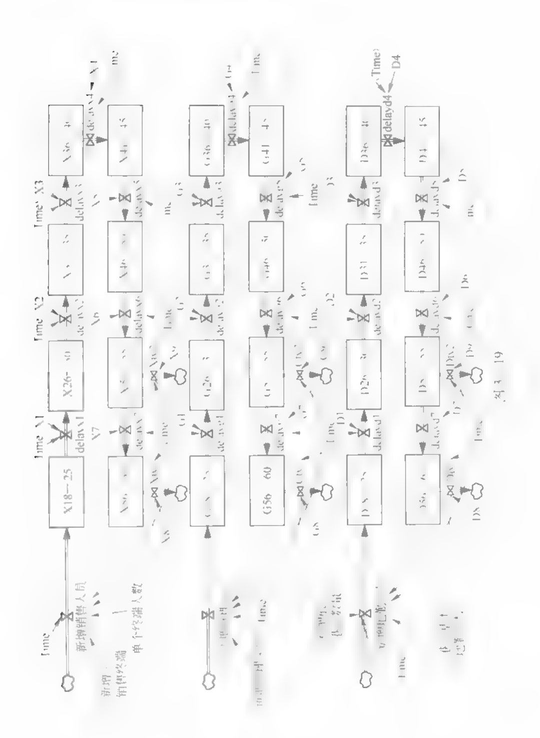


图 3-19

(F18—25)　(F26—30)　(F31—35)
(F56—60) → ZF ← (F36—40)
(F41—45)　(F46—50)　(F51—55)

(X18—25)　(X26—30)　(X31—35)
(X41—45) → ZX ← (X36—40)
(X56—60)　(X46—50)　(X51—55)

(J18—25)　(J26—30)　(J31—35)
(J41—45) → ZJ ← (J36—40)
(J46—50)　(J51—55)　(J56—60)

(G18—25)　(G26—30)　(G31—35)
(G36—40) → ZG ← (G46—50)
(G41—45)　(G56—60)　(G51—55)

(K18—25)　(K26—30)　(K31—35)
(K36—40) → ZK ← (K51—55)
(K41—45)　(K46—50)　(K56—60)

(D18—25)　(D26—30)　(D31—35)
(D36—40) → ZD ← (D41—45)
(D46—50)　(D51—55)　(D56—60)

图 3-20

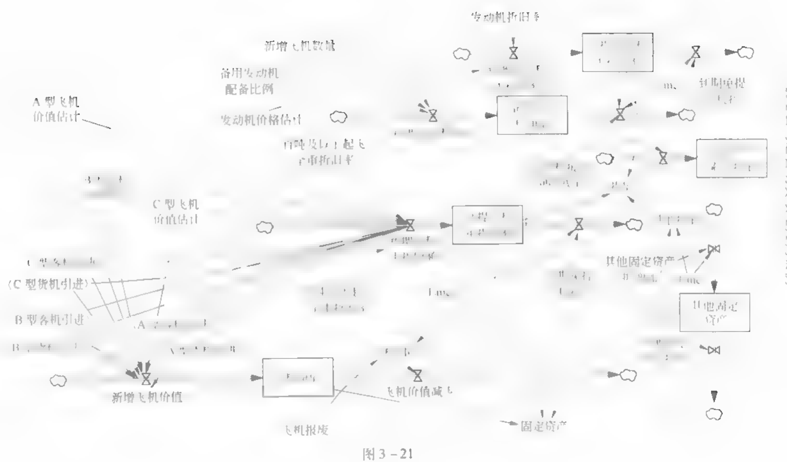

新增飞机数量
备用发动机
配备比例
发动机价格估计
A型飞机
价值估计
C型飞机
价值估计
(C型货机引进)
B型客机引进
新增飞机价值
飞机报废
其他固定资产
固定资产

图3-21

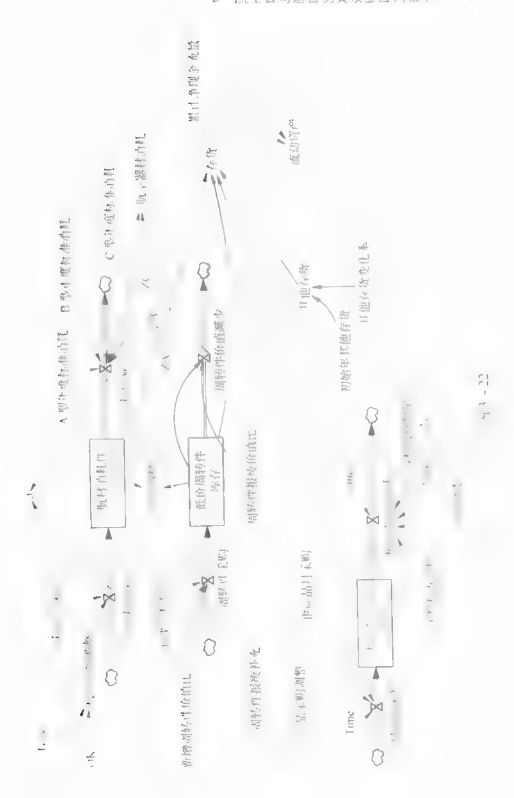


图3-22

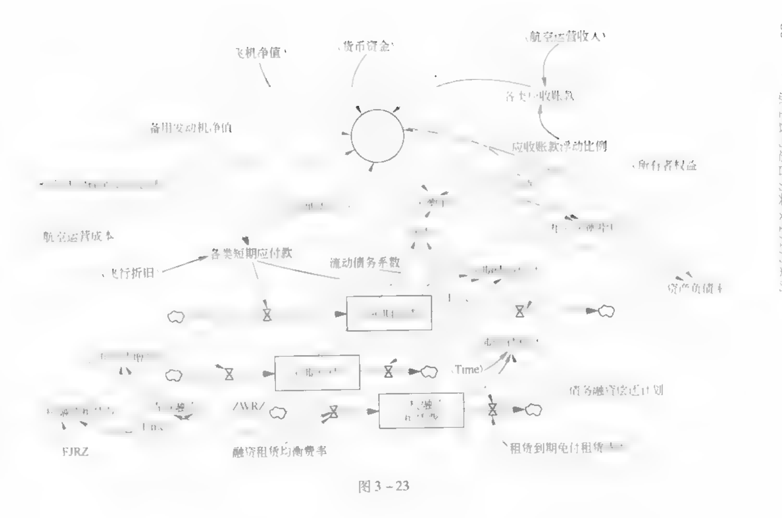

飞机净值
货币资金
航空运营收入
备用发动机净值
应收账款浮动比例
航空运营成本
各类短期应付款
流动债务系数
飞行折旧
Time
/WR/
FJRZ

图 3 - 23

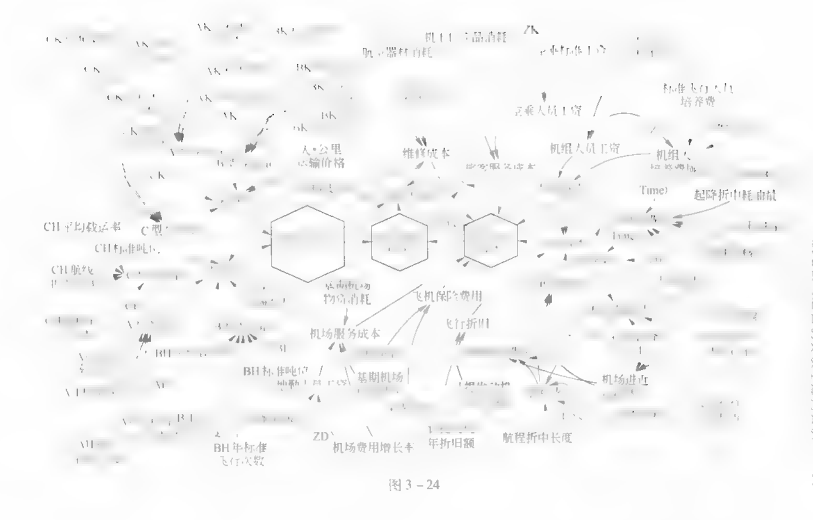
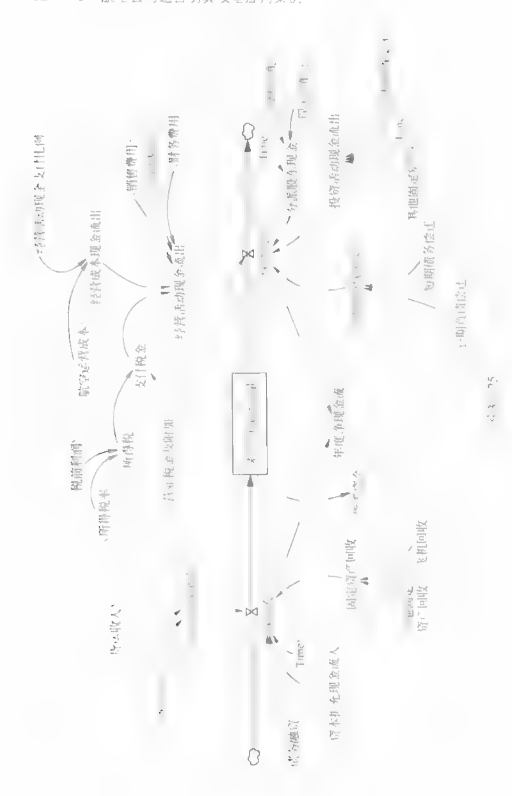

维修成本
机组人员工资
起降折中耗油量
飞机保险费用
飞行折旧
机场服务成本
基期机场
机场进近
BH年标准
飞行次数
机场费用增长率
年折旧额
航程折中长度

图3-24


税前利润
所得税率
所得税
支付税金
航空运营成本
经营成本现金流出
经营活动现金流出
销售费用
财务费用
分派股利现金
投资活动现金流出
短期债务偿还
年度净现金流
固定资产回收
飞机回收
资本补充现金流入
Time

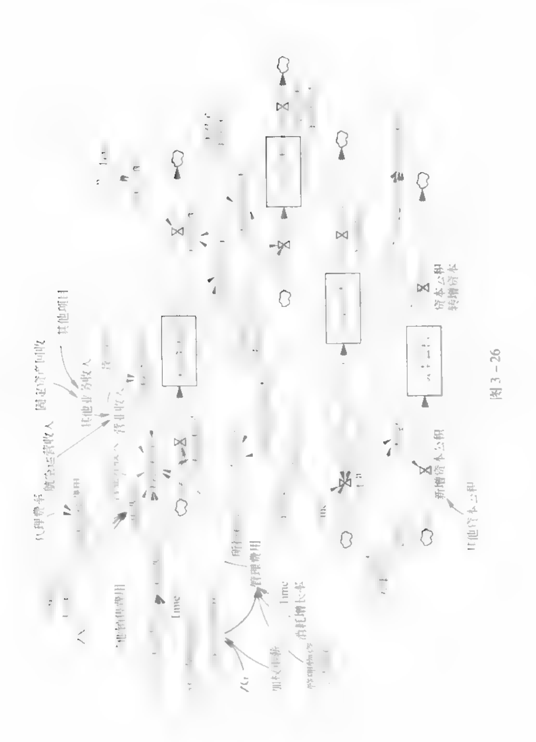


图 3－26

4

矿山企业经营仿真系统

4.1 矿山企业的定义及其经营特点[31~32]

有色金属矿山企业是本章的研究对象。为了便于读者理解，很有必要对矿山企业的定义、经营特点以及有色金属矿山企业的生产过程有一个全面的认识。

4.1.1 矿山企业定义

按照我国目前通行的分类，农业为第一产业，工业（或加工业）为第二产业，服务业为第三产业。起初，我国将矿业划分为第二产业，属于“制造业”下的原料类。为了在统计上与国际接轨，2002年将“采掘业”独立出来。按照我国《国民经济行业分类》（GB/T 4754—2002），采掘业作为独立的门类与农、林、牧、渔业，制造业，建筑业等行业并列，属于国民经济最重要的行业之一。

一般来讲，广义的矿山企业包括从事地质找矿、采矿、选矿、冶炼、矿产品加工等一系列生产活动的、自主经营、自负盈亏、具有法人资格且赢利性的经济组织，是指矿产资源行业的所有企业。狭义的指直接从事矿产资源开发活动的企业，主要是指通过采矿和选矿手段开发矿产资源、经营矿产品，以取得合法收益的工业企业，也是自主经营、自负盈亏、具有法人资格的赢利性的经济组织，主要包括从事采掘业的矿业企业，具体指采矿企业、选矿企业和采选联合企业，相对于冶炼、加工业等，它们处于矿产业的上游。本章

的研究对象是有色金属采选联合企业。

4.1.2 矿山企业的运营特点

从运营管理的观点来看，任何企业的运营都是"投入—转换—产出"的过程。从这个角度出发，矿山企业具有一般工业企业所不具备的特征。

4.1.2.1 原材料的特性

(1) 资源的稀缺性。一般工业企业所需原材料可以通过外购来满足，而且通过技术改造可以永保企业青春，而矿山企业利用的矿产资源是历经数十亿年经过各种地质作用后富集起来的，是不可再生的耗竭性资源，一旦被开采，在人类历史的相对短暂时期内，绝大多数不可再生。矿山企业的寿命即服务年限与其开采范围内所拥有的矿产资源储量成正比。不管拥有资源量是多少，矿山企业终因可采储量耗竭而停产、闭坑。

(2) 分布不均匀性。地质成矿规律造成矿产资源分布的不均匀性。矿山企业的厂址选择严格受到矿产资源赋存的地理位置的制约。矿山企业绝大部分在远离城镇且交通、通信、动力等协作条件很差的山区地区建设，通常需要长距离修路、架电、取水。这样就造成了投资大、建设周期长、见效慢，和一般工业可以紧接市场，依托协作条件好的城市进行择优安排大不相同，建厂和建矿条件差别较大。

(3) 共生伴生性。共生伴生性是矿产资源的显著特点。如广西大厂锡矿伴有铅、锌、锑、银等有用金属。因此，矿山企业的原材料的特性导致产品的多种化。

4.1.2.2 矿产品的特性

(1) 价格波动性。矿业市场的波动在很大程度上制约着矿产资源的开发进程，在矿床开采技术条件相同的前提下，产品售价无疑

是决定矿山经营与最敏感的因素。矿产品供求关系的特点决定了矿产品价格波动强。矿产品在低价时，供给弹性大，而在高价时，供给弹性小。这是因为矿业新增生产能力的周期长。另一方面，矿产品的需求弹性小，原因是矿产品的替代能力差。但是，矿业作为基础产业，其产品的需求多属中间产品，受国民经济活动水平的影响较大。所以，当经济繁荣时，矿产品的需求量大，矿产品价格高，当经济萧条时，矿产品需求小，矿产品价格低。

2. 矿产品的同质性。就一般工业企业而言，当产品在市场上具有同质化特征时，企业往往通过差异化的竞争策略获取竞争优势。与其他工业企业不同，矿山企业的竞争策略相对单一。一般来说，如果矿产品的品位相近、品质相同，企业应用差异化策略的可能性就越小。鉴于矿产品的同质性的特点，再加之矿产品本身主要作为工业生产的原料，矿山企业往往只能通过采用低成本策略和规模效益作为主要的竞争手段。也就是说，矿山企业竞争力受营销策略的影响程度较小，而更多影响企业竞争力的因素是矿产品的品质和企业管理的水平等因素。

4.1.2.3 矿山企业经济效益的递减性、后续性

矿山一经投产，经过一阶段稳定生产后，随矿业企业资源条件逐步变化，开采深度逐步加大，生产环节增多，采选成本不断提高，产量逐步降低，从全周期上，矿业企业经济效益呈递减趋势，这是矿业普遍规律，是一般工业企业没有而矿山独具的特殊规律。

矿业企业生产发展的全过程，一般分三个阶段。第一阶段是初期投产期：从基本建设完成后，试生产（试车）开始，到矿石产量达到设计能力为止。这个阶段尚难发挥投资效益，但随设备全部运转，工艺流程合理调试，主要采选指标正确控制，矿山企业矿石产量逐年提高，直到达到设计要求产量，矿山企业经济效益也随之逐渐上升。第二阶段是均衡生产期：是达到设计生产能力后，矿业企业生产均衡，产量稳定，也是矿业企业经济效益最好阶段。第三阶

段是矿山产量递减的衰老期：开采范围内储量逐年减少、产量逐年降低、提升运输环节复杂、矿山的开采条件逐渐恶化、生产成本增加，矿业企业的经济效益递减。

矿业处于社会生产链的最前端，矿业自身的效益往往要少于其产业链后端效益。矿产品不仅本身有其价值和使用价值，而且对后续加工业有很强的效益传递功能和广泛的经济辐射效应。矿业的发展带动许多下游产业的发展，可以促进劳动力的大规模就业，促进矿业城镇建设，促进下游加工业的发展。

4.1.2.4 矿山企业投资的特性

(1) 持续性。一般工业企业基本建设完成后就可以外购原料，持续生产，而矿山则完全不同。在开采过程中，随着开拓矿量的减少及开采对象的耗竭消失，矿山需要不断地向外围扩展或向深部延伸，以开辟新的作业场所，弥补耗竭的储量。当矿石储量不足时，就需要寻找接替资源或接替基地。矿山基本建设必须以一定比例贯穿于整个矿山生产过程中，相应的基建性投资就要持续给予保证。

(2) 高风险性。矿产资源赋存于地下，即使通过详细勘探亦不能完全了解其品质和规模。矿产资源成分复杂多变，世界上没有两个完全相同的矿床。因而，在寻找、探明以至开发利用矿产资源的过程中，必然伴随着不断的探索、研究，相对应的基建成本和时间成本较大。伴随着不断的探索、研究，总会有不同程度的投资风险存在。一般来讲，矿山建设前期需要做大量的矿山建设可行性研究，以降低风险，保证拟建矿山技术经济可行，但即便是这样，一些不可预见的因素还会出现。矿山企业投资大、风险高的特点是一般工业企业不可比拟的。此外，矿业生产对象即矿体的属性复杂多变，不确定性强，矿山企业的投资不一定完全形成价值。因此，矿业投资的市场与技术风险高。矿业是资本密集型产业，而且矿业投资周期长，投资经济效果受市场价格变动和通货膨胀水平的影响较大。

4.1.2.5　矿山工作和生活环境的艰苦性

由于矿产地多处于山区或偏远落后地区，矿山企业的建设和发展基本上没有可以依托的城市，一般工业企业可以依托交通、通信各方面协作条件较好的城市和城镇建厂。矿山企业工作环境艰苦，矿工多处于地下深处作业，与工厂相比，危险因素多，职业病多，重大人身安全事故发生频繁。因而矿工在企业的服务年限比一般工业企业职工短，自然减员和新增人员都比一般工业企业要频繁、要快，劳动保护费用、培训费要比一般工业企业多。

4.1.2.6　矿山生态环境的广泛破坏性

矿产资源开发常常对生态环境，包括大气、水土、植被、地形地貌和自然景观等造成不同程度的污染破坏，具有较强的外部不经济效应。因此，矿业生产的外部成本高，生态环境恢复治理投入大，难度大。随着经济与社会的发展，人们会要求有更高的生活环境与生活质量，政府会促使矿山企业投入更多的环保与复垦资金，走上绿色矿业之路。

4.1.2.7　税收特殊性

矿产资源为不可再生资源，矿产品开发的经济效益，是在资源即矿体的不断消耗过程中实现的。为此，矿业税收政策通常对此有特别的规定。我国矿山企业税收特征如下：

（1）增值税额大。一般工业企业特别是制造业都要大量外购能源物质和矿产品原材料，工业企业的产品在征收增值税时，外购原材料抵扣量大，实缴增值税相对少。而矿业企业投入原料是自然形成的矿产资源，在开发矿产资源过程中，只外购少量的支护、爆破材料等，因此矿产品在征收增值税时，抵扣很少。据统计，有色金属矿山企业增值税占矿山综合税费金的比例高达80.3%。财政部自2009年1月1日起，将矿山企业的增值税由原来的13%提高到

17%，这对矿山企业的运营结果有重大影响。

(2) 特有税种。特有税种包括：

1）资源税。资源税是以各种应税自然资源为课税对象、为了调节资源级差收入并体现国有资源有偿使用而征收的一种税。资源税在理论上可区分为对绝对矿租课征的一般资源税和对级差矿租课征的级差资源税，是矿山企业所拥有的特殊税种，一般工业企业税收中没有此项。

我国从1984年10月1日起对开采矿产品的单位和个人就开征了资源税。1994年税制改革时，首次对矿产资源全面征收资源税，并将资源税的征税标准提高。目前，我国的资源税还有继续提高的趋势。

2）矿产资源补偿费。矿产资源补偿费是国家凭借对矿产资源的所有权向采矿权人征收的费用。矿产资源补偿费从1994年4月1日起对采矿权人征收。矿产资源补偿费所调整的是国家作为矿产资源所有者与采矿权人之间的经济关系，是国家对矿产资源所有权收益的重要组成部分，是采矿人开采不可再生矿产资源而对作为矿产资源所有者的国家的补偿[31,32]。

4.2 有色金属矿山企业的生产过程[31,32]

4.2.1 生产过程简介

有色金属采选企业的生产过程是经过采矿作业、选矿作业将矿石富集成具有一定含量最终成为可以作为冶炼原料的精矿的过程。

有色金属矿山企业生产工艺流程如下：

(1) 采矿工艺流程

1）露天开采：包括剥离、爆破、装车、运输等生产过程。

2）地下开采：包括开拓、采准、切割、回采、运输、提升等生产过程。

矿山企业中，采矿方法决定回采工艺、材料设备、掘进工程量、

劳动生产率、储量回收以及采出矿石质量等。

（2）选矿工艺流程

1）选前矿物原料准备作业：包括粉碎（破碎或磨碎）、筛分、分级和洗矿。

2）选别作业：包括重选、浮选、电选、拣选和化学选。

3）选后产品处理作业：包括精矿、中矿、尾矿的脱水，尾矿的堆制和废水处理。

4.2.2　有色金属矿山企业生产运营过程的特殊性

有色金属矿山企业生产运营过程的特殊性如下：

1）生产勘探伴随生产过程的进行不断地投入。地质勘察阶段，只是对矿体的上部或初期开采区域提供了比较可靠的可供开采储量，而对矿床深部区段地质勘探往往不够详细。为扩大矿山的开发远景，矿山在生产过程中，对矿体必须做进一步勘察工作，以便为采矿提供更准确可靠的资料，探明矿区以及未发现的隐伏矿体，增加矿山资源储备，延长矿山的开采年限。随着我国矿山行业的快速发展，矿产资源供需矛盾开始突出，矿业资源的获取和后续发展资源补充接替的问题，使不可避免地成为矿山企业持续性发展的核心战略。因此，生产勘探伴随生产过程的进行不断地投入。

2）外部环境条件对生产过程约束力高。矿山企业生产过程与自然环境极高的关联度，使得环境要素在矿山企业竞争力中具有不可忽视的影响。

随着日益严重的资源短缺和环境恶化，使得以耗费资源为基本条件的有色金属矿业发展受到越来越多的约束和限制。有关环境的法律和制度的约束，对企业提出了越来越严格的要求。在环境保护法律、制度日益严格的趋势下，服从和适应环保要求既是企业增强竞争力的途径，也是其生存和发展的必然。企业只有积极主动适应环境政策的变化，通过不断技术创新，掌握资源节约和高效利用的

核心技术，才能拥有持续的竞争优势。因此，涉及环保要素的，以节能减排为目标的新型生产技术自然成为增强企业竞争能力的重要技术能力。

(3) 生产过程中主要材料消耗不构成产品的实体。有色金属采选业消耗的材料主要有采准、回采等作业环节所消耗的炸药、雷管、坑木、导火线、钎子钢等，选矿作业环节的选矿试剂等，这些材料的消耗并不构成产品的实体，其投入的多少不能严格意义上按照产品的多寡来计量，只能从类似矿山或者相关矿山的历史资料进行估计。

(4) 生产过程必须加强安全和劳动保护工作。有色金属矿山生产过程涉及爆破、地压、涌水等诸多危险因素，大多在地下、井下作业场所，作业条件差，劳动强度大，安全生产难度大，其安全和劳动保护工作时时贯穿于生产过程之中。

(5) 高消耗伴随整个生产运营过程。有色金属矿山企业生产条件复杂，采矿选矿需要大量的机械设备，其生产过程需要消耗大量的能源、水等资源。例如，选矿过程中，重选每1t原矿耗水20～30t，浮选每1t原矿耗水4～6t。

(6) 有色金属矿山运营管理复杂。由前面章节的分析我们可以知道，一般工业企业作业场所固定，原料供给稳定，生产的技术路线、工艺流程相对不变，而矿业企业生产的作业场所不断移动，开采对象随作业场所的移动，必然发生不同程度的变化，由于矿石品位的变化，选矿的流程需要动态调整。开采条件的复杂性和矿石品质的不确定性，从而给生产管理、技术管理造成额外的困难，随着矿山企业生命期的延续，投入不断增加，采选成本不断提高。面对复杂多变的赋存状况和开采条件，技术改造频繁，额外的处理、改造投入大，这些势必造成矿山企业运营管理的复杂性。

4.3 有色金属矿山企业运营战略构成[33~44]

源于运营系统和矿山经营的特殊性，有色金属矿山企业运营战

真系统主要有以下几个方面：

4.3.1 有色金属矿产品价格与市场

有色金属矿产品价格具有强烈的波动性，是典型的周期性行业。有色金属矿山企业需要对未来产品的销售价格进行预测。本节将价格的平均回弹过程运用到矿产品的价格模拟中。

自然资源开发形成的产品如矿产品、农产品、海洋产品等等，其价格波动幅度有的是相当大的。它们具有很强的随机游走性。随机过程是一种连续的随机游走，偏微分方程中包含价格变动的一般趋势及其随机扰动两因素，从而使它更能反映出价格在时间序列上的动态特征。虽然布朗几何运动在短期金属市场价格波动研究中是一种合理的描述方程，但它很容易偏离起算点而未必与观测到的长期金属价格波动相吻合。金属的生产具有较为稳定的长期边际生产成本，而金属市场又具较强的竞争性，因此，即使短期内金属价格可能偏离其长期边际成本较远，但最终还要回落到一个恒定的水平。这一过程被称为平均回弹过程。

价格的平均回弹过程可用下式表达：

$$dS_t = h(S - S_t)dt + \sigma S_t dz$$

式中 h——价格回弹速度；

$S - S_t$——正常水平或者说 S_t 趋于回弹的水平（即金属生产的长期边际成本）；

σ——该价格增长速率的标准偏差。

价格的变动幅度与当前价格和正常水平价格的差距有关，这差距越大，下一时间段的价格回弹幅度也越大。价格所有的未来值只与当前的时点价格、回弹速度和价格波动率有关。由此，可以用蒙特卡洛法模拟未来价格波动情况[4]。

4.3.2 稀缺资源的有效管理

有色金属矿山企业所拥有的采矿权是一种特殊的资源权利，如

何在有限的时间中利用这种权利为企业创造最大的价值，是有色金属矿山企业在外部环境约束和自身利益的一个平衡点。对资源的有效管理是有色金属矿山企业的重要任务，因为社会的稀缺资源的微观管理机构就是矿山企业，矿山企业生产水平及组织效应直接影响到资源的有效管理。这种有效的管理通过对资源储量进行动态管理来实现。

4.3.3 生产计划策略

有色金属矿山的资源是由地质条件所决定的，在某种程度上是没有办法改变的。有色金属矿山企业的决策者总是在市场需求及市场价格的波动与有限的资源储量之间寻求矿山企业价值的最大化。根据这样的前提，制定有效的生产计划策略是有色金属矿山企业提高企业价值的有效途径之一。

4.3.4 循环经济和清洁生产理念下的运营管理

循环经济是一种强调与环境融合、物质不断循环利用基础上的经济发展模式，完全不同于传统经济的“资源—生产—流通—消费—丢弃”的单向社会物流和“资源—产品—污染排放”的高投入、低产出、高污染的粗放型经济增长方式。其理论内涵是把经济活动组成一个“资源—产品—再生资源”物质反复循环流动的过程，贯彻减量化、再使用、再循环的3R原则，使资源能在这个动态的经济循环链中得到合理、科学、持久及最大限度的利用。它是目前最能代表可持续发展的一种战略模式选择，且越来越为国际社会所接受。推行循环经济的发展模式，将资源包袱真正转变为资源优势，进而转化为经济优势，是实现资源可持续利用的必然选择。

清洁生产是与传统的防治战略完全不同的新概念，又称作工业污染的全过程控制。其是对矿山开采、选矿、运输、加工、利用和废弃物处理等环节进行全面控制，从源头削减污染，提高资源利用率，减少或避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放，

以减轻或消除对人类健康和环境的危害。

有色金属矿山企业在运营管理中以此为生产经营的理念，并在企业生产运营管理中得以体现。如对矿山生产过程中的废石、废渣尾砂等进行有效管理，对破坏了的植被进行复垦，尽量减少因此产生的非安全、非生态因素，不因短期的节约资金而带来后期大资本的投入。尾砂的回收利用还可以提高企业收入，减少企业尾砂库的运营成本[34]。

4.3.5 与财务管理结合的运营管理

企业的运营状况最终以经济效益的形式反映出来，财务管理是企业管理的重要组成部分，企业的管理层负有实现企业价值最大化的责任。长期以来我国有色金属矿山企业管理重视生产运营而轻视财务管理。根据系统论的观点，系统内部各要素相互联系相互作用，因此有色金属矿山运营系统通过各项财务指标反映企业的运营状况。

4.4 系统动力学应用于有色金属矿山企业运营仿真的可行性

有色金属矿山企业运营模拟系统属于典型的开放的复杂巨系统，系统内部各要素之间以及系统内外之间不断进行着物质、能量和信息的交换，系统具有整体性、开放性、动态性、层次性和复杂性等特点，其包含要素众多，内部结构复杂。因此，建立系统动力学仿真模型，研究矿业经营系统的发展变化情况，显得十分必要。

（1）从矿产资源本身的特点来看，矿产资源是一个地质、技术、经济的准动态概念。因此，随着人类对自然界的认识和利用的加深、科学技术的进步、社会的发展，从前认为不构成矿产资源的现在可以成为矿产资源，同样现在是矿产资源的将可能失去其使用价值。采用动态分析的方法主要考虑矿产资源运动的变化过程，在运动发展中认识经济现象和经济过程的特殊规律性。

（2）运营系统具有多重反馈结构。由运营系统的影响因素可以发现，多种因素影响运营结果的变化。

(3) 有色金属矿山运营预测系统是一个非线性系统。

(4) 运营预测系统各变量之间存在长时滞。运营预测系统中，各变量之间的时间滞后通常以月、半年甚至全年来计算。例如，销售收入每年现收与赊面会有延迟，即赊销货物的情况等等。

(5) 运营预测系统是一种因果系统。同其他社会系统一样，运营预测系统的每一次波动，都必然有其原因。如果没有原因，也不会产生相应的结果，尽管这种原因和结果的联系在时间和空间上并不一定表现出连续性。

(6) 运营预测系统具有明显的组织结构。运营预测系统的物质流动和信息流动，与系统的组织结构有着密切的关系。

4.5 矿山企业运营系统动力学模型

基于上述对有色金属矿山运营预测系统整体结构的分析，结合各因素之间的关系并根据系统动力学的建模要求，进一步构建整个系统下的各子系统。根据一般的有色金属企业的运营特征和运营模式将整个系统划分为：储量子系统、人力资源子系统、环境子系统、固定资产子系统、存货子系统、收入成本子系统、资产负债子系统、现金流量子系统，进一步深层地分析有色金属矿山企业的行为模式。

4.5.1 储量子系统

矿山生产规模是矿区开发过程中非常重要的一项决策要素，矿山生产规模的确定，涉及矿区资源条件、矿区内外部多种技术经济因素，是一个复杂的系统工程问题。确定矿山生产规模一般考虑三个因素，即市场需求量、开采技术条件含储量规模和经济条件效益最大化原则。矿山的资源储备是一个资源型企业的核心资产，通过矿山的开采可以为企业持续带来赢利（少数价格低迷时期可能出现亏损），而企业通过赢利的积累又勘探、收购、开发新的矿山就形成了资源型企业的持续经营。由于矿产企业原料的特殊性，储量是矿

山企业进行经济活动的有效保障，是有色金属矿山企业的“生命之源”，矿山企业的生存和发展极大程度地依赖矿产资源的持有量。有色金属矿山经营者随时把握有效的信息，进行储量的动态管理，对进行企业决策有着重大指导意义。

本系统将储量、年出矿量、年选矿量设置为流位变量，年耗储量、年增储量设为流率变量，将钨的地质品位设为辅助变量，同时可用概率的形式来反映潜在储量的变化。系统流图如图4-1所示。

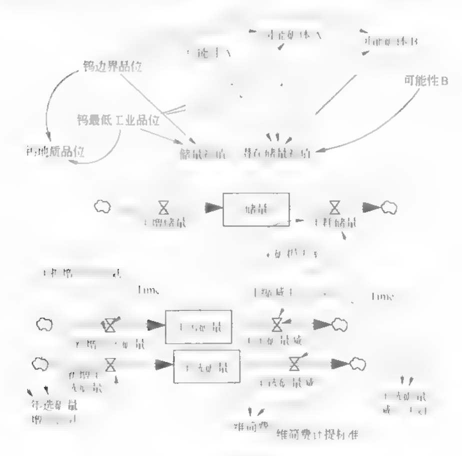


图4-1 储量子系统

模型基本方程式如下：

(1) 储量＝INTEG（＋年增储量－年耗储量，储量初值＋潜在储量初值）；

(2) 年耗储量 = (1 - 采矿损失率) * 年出矿量;

(3) 潜在储量初值 = 可能矿体 A * 可能性 A + 可能矿体 B * 可能性 B;

(4) 维简费 = 年选矿量 * 维简费标准;

(5) 钨地质品位 = 品位函数(钨边界品位, 钨最低工业品位);

(6) 储量 = 储量函数(钨边界品位, 钨最低工业品位)。

4.5.2 产量子系统

与一般企业有所不同，矿产品的产量受地质条件及经营参数的高度制约，其数量由地质品位、开采贫化率、选矿回收率、年选矿量共同决定，地质品位和开采贫化率确定出矿品位，产量受出矿品位和选矿回收率的共同作用。本系统反映了矿产品的计量特征。系统流图如图 4-2 所示。

图 4-2 产量子系统

模型基本方程式如下：

（1）钨出矿品位 = 钨地质品位 *（1 - 开采贫化率）；

（2）钨金属 = 年选矿量 * 钨出矿品位 * 钨选矿回收率；

（3）钼出矿品位 = 钼地质品位 *（1 - 开采贫化率）；

（4）钼金属 = 年选矿量 * 钼出矿品位 * 钼选矿回收率；

（5）铜出矿品位 = 铜地质品位 *（1 - 开采贫化率）；

（6）铜金属 = 年选矿量 * 铜出矿品位 * 铜选矿回收率；

（7）锌出矿品位 = 锌地质品位 *（1 - 开采贫化率）；

（8）锌金属 = 年选矿量 * 锌出矿品位 * 锌选矿回收率；

（9）锡出矿品位 = 锡地质品位 *（1 - 开采贫化率）；

（10）锡金属 = 年选矿量 * 锡出矿品位 * 锡选矿回收率

4.5.3　产品价格子系统

矿山经济效益直接受产品价格的影响，而矿产品价格的高度波动性给企业决策者正确判断市场带来了困难。由第2章的介绍我们可以知道，矿产品的长期价格终究要回归到某一恒定的水平，矿产品未来的价格由当前的时点价格、回弹速度和价格波动率共同决定。本系统将各精矿的市场时点价格作为状态变量，将价格维纳增量作为速率变量。hi（i = 1，2，…，6）分别表示各金属的回弹速度，sigmai hi（i = 1，2，…，6）表示价格增长速率hi的标准偏差，Pi hi（i = 1，2，…，6）表示各金属的平均回弹价格，epsiloni（i = 1，2，…，6）表示价格的随机参数。通过对本系统的分析，清晰直观地表达了各产品价格的平均回弹过程，确定了各产品的动态价格。系统流图如图4-3所示。

模型基本方程式如下：

（1）钨时点价格 = INTEG（价格增量1，钨价格初始值）；

（2）价格增量1 =（P1 - 钨时点价格）* h1 + 钨时点价格 * sigma1 * epsilon1；

（3）钼时点价格 = INTEG（价格增量2，钼价格初始值）；

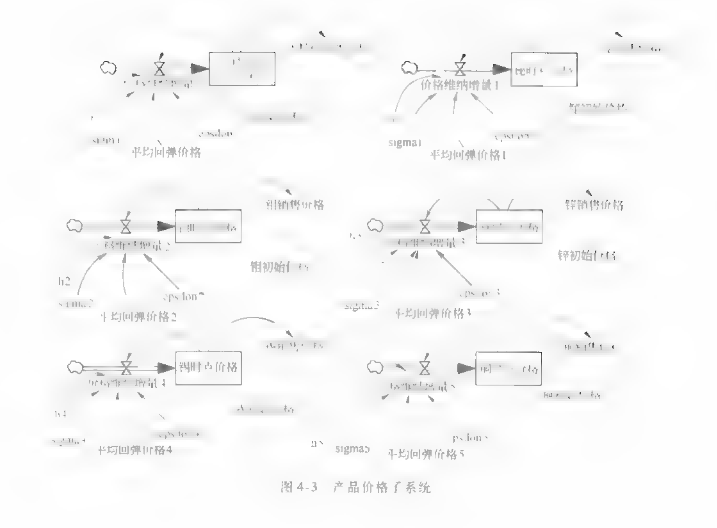

价格维纳增量1
sigma1
平均回弹价格1
平均回弹价格
锌销售价格
锌初始价格
平均回弹价格2
平均回弹价格3
平均回弹价格4
sigma5
平均回弹价格5

图 4-3 产品价格子系统

（4）价格增量2 = （P2－钼时点价格）* h2 + 钼时点价格 * sigma2 * epsilon2；

（5）锌时点价格 = INTEG（价格增量3，锌价格初始值）；

（6）价格增量3 = （P3－锌时点价格）* h3 + 锌时点价格 * sigma3 * epsilon3；

（7）锡时点价格 = INTEG（价格增量4，锡价格初始值）；

（8）价格增量4 = （P4－锡时点价格）* h4 + 锡时点价格 * sigma4 * epsilon4；

（9）铜时点价格 = INTEG（价格增量5，铜价格初始值）；

（10）价格增量5 = （P5－铜时点价格）* h5 + 铜时点价格 * sigma5 * epsilon5；

（11）铋时点价格 = INTEG（价格增量6，铋价格初始值）；

（12）价格增量6 = （P6－铋时点价格）* h6 + 铋时点价格 * sigma6 * epsilon6

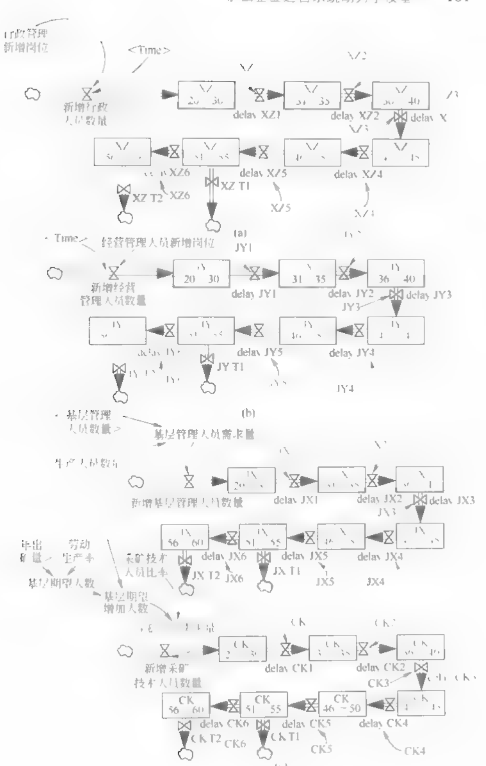
4.5.4　人力资源子系统

人力资源是企业核心竞争力之一。有色金属矿山企业是一个资本、劳动密集型企业，对于矿山企业来说，如何根据自身发展的需要来确定人力资源的结构、数量是矿山企业的经营战略目标之一，需要企业管理者能够作出清晰的判断和分析。

有色金属矿山企业的人力资源结构有很强的专业性，如采矿人员、选矿人员等。本系统中按各职能及年龄结构划分矿山企业人员，采取年龄段式。由于矿山企业人员年龄结构老化，企业新招收人员年龄大多为30岁以下，所以20～30岁为一年龄组合，此后每五年为一个年龄组合，如此能够清晰地反映各年龄段各种人员流动情况。变量中带有TY字母为退休人员数量，其中TY1表示男性退休人员，TY2表示女性退休人员。系统流图如图4-4所示。

模型基本方程式如下：

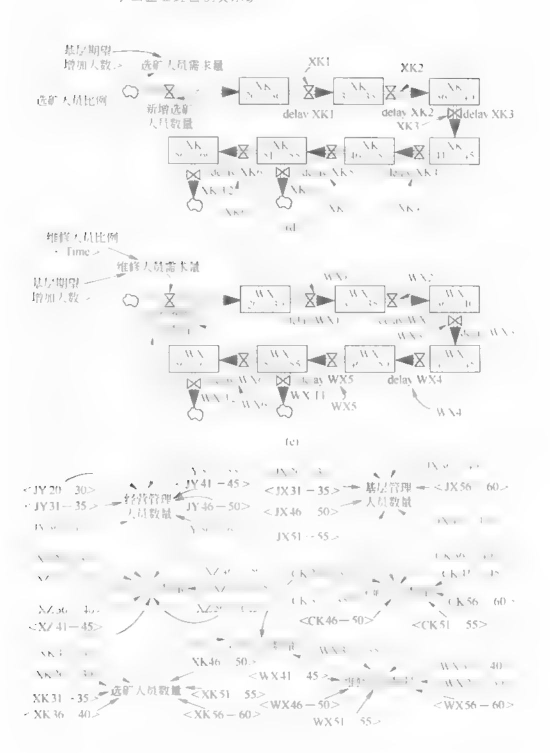
（1）应付工资 = INTEG（应付工资增加－应付工资减少，应付工资初始值）；


<Time>
新增行政人员数量
delay XZ1
delay XZ2
delay XZ5
delay XZ4
XZ6
XZ T2
XZ T1
经营管理人员新增岗位
JY1
新增经营管理人员数量
delay JY1
delay JY2
delay JY3
JY3
delay JY5
delay JY4
JY T1
JY4
基层管理人员需求量
新增基层管理人员数量
delay JX1
delay JX2
delay JX3
delay JX6
delay JX5
delay JX4
JX T2
JX6
JX T1
JX5
JX4
劳动生产率
基层期望人数
基层期望增加人数
新增采矿技术人员数量
delay CK1
delay CK2
CK3
delay CK6
delay CK5
delay CK4
CK T2
CK6
CK T1
CK5
CK4

(a)

(b)

(c)


基层期望增加人数
选矿人员需求量
选矿人员比例
新增选矿人员数量
XK1
XK2
delay XK1
delay XK2
delay XK3
XK3
维修人员比例
Time
维修人员需求量
基层期望增加人数
delay WX5
delay WX4
WX5
WX4
<JY20—30>
<JY31—35>
经营管理人员数量
JY41—45>
JY46—50>
<JX31—35>
<JX46—50>
JX51—55>
基层管理人员数量
<JX56—60>
<XZ41—45>
<CK46—50>
<CK51—55>
CK56—60>
XK46—50>
<WX41—45>
XK31—35>
XK36—40>
选矿人员数量
<XK51—55>
<XK56—60>
<WX46—50>
WX51—55>
<WX56—60>

(c)

图4-4 人力资源子系统

(2) 中层经营管理人员数量 = 经营管理人员增长函数(Time);

(3) 基层期望增加人数 = IF THEN ELSE(基层期望人数 − 生产人员数量 >0, 基层期望人数 − 生产人员数量, 0);

(4) 基层管理人员需求量 = INTEGER(IF THEN ELSE(生产人员数量/8 − 基层管理人员数量 >0, 生产人员数量/8 − 基层管理人员数量, 0));

(5) 生产人员数量 = 维修人员数量 + 选矿人员数量 + 采矿人员

数量；

（6）JY(20~30) = INTEG（新增经营管理人员数量 - delay JY1，初始值）；

（7）JY(n~n+4) = INTEG（delay JY(m+1) - delay JY(m)，初始值）其中 n = 31、36、41、46，m = 1，2，…，5；

（8）JY(51~55) = INTEG（delay JY4 - delay JY5 - JY F1，初始值）；

（9）JY(55~60) = INTEG（delay JY5 - delay JY6 - JY F2，初始值）；

（10）XZ(20~30) = INTEG（新增经营管理人员数量 - delay XZ1，初始值）；

（11）XZ(n~n+4) = INTEG（delay XZ(m+1) - delay XZ(m)，初始值）其中 n = 31、36、41、46，m = 1，2，…，5；

（12）XZ(51~55) = INTEG（delay XZ4 - delay XZ5 - XZ F1，初始值）；

（13）XZ(55~60) = INTEG（delay XZ5 - delay XZ6 - XZ F2，初始值）；

（14）JX(20~30) = INTEG（新增经营管理人员数量 - delay JX1，初始值）；

（15）JX(n~n+4) = INTEG（delay JX(m+1) - delay JX(m)，初始值）其中 n = 31、36、41、46，m = 1，2，…，5；

（16）JX(51~55) = INTEG（delay JX4 - delay JX5 - JY F1，初始值）；

（17）JX(55~60) = INTEG（delay JX5 - delay JX6 - JY F2，初始值）；

（18）CK(20~30) = INTEG（新增经营管理人员数量 - delay CK1，初始值）；

（19）CK(n~n+4) = INTEG（delay CK(m+1) - delay CK(m)，初始值）其中 n = 31、36、41、46，m = 1，2，…，5；

(20) CK 51 ~ 55 = INTEG (delay CK4 − delay CK5 − JY F1, 初始值);

(21) CK 55 ~ 60 = INTEG (delay CK5 − delay CK6 − JY F2, 初始值);

(22) XK 20 ~ 30 = INTEG (新增经营管理人员数量 − delay XK1, 初始值);

(23) XK n ~ n + 4 = INTEG (delay XK m + 1 − delay XK m, 初始值) 其中 n = 31、36、41、46, m = 1, 2, …, 5;

(24) XK 51 ~ 55 = INTEG (delay XK4 − delay XK5 − XK F1, 初始值);

(25) XK 55 ~ 60 = INTEG (delay XK5 − delay XK6 − XK F2, 初始值);

(26) WX 20 ~ 30 = INTEG (新增经营管理人员数量 − delay WX1, 初始值);

(27) WX n ~ n + 4 = INTEG (delay WX m + 1 − delay WX m, 初始值) 其中 n = 31、36、41、46, m = 1, 2, …, 5;

(28) WX 51 ~ 55 = INTEG (delay JX4 − delay JX5 − JY F1, 初始值);

(29) WX 55 ~ 60 = INTEG (delay JX5 − delay JX6 − JY F2, 初始值);

(30) 基层管理人员支出 = (基层管理人员工资 + 基层管理人员年培训费) * 基层管理人员数量;

(31) 行政人员支出 = (行政人员年培训费 + 行政人员年工资) * 行政人员数量;

(32) 经营人员支出 = (经营人员年培训费 + 经营人员年工资) * 经营管理人员数量;

(33) 维修人员支出 = (维修人员培训费用 + 维修人员年工资) * 维修人员数量;

(34) 选矿人员支出 = 选矿人员数量 * (选矿技术人员工资 +

选矿技术人员年培训费)；

(35) 应付工资增加 = 基层管理人员支出 + 经营人员支出 + 维修人员支出 + 行政人员支出 + 选矿人员支出 + 采矿技术人员支出；

(36) 采矿人员支出 = (采矿人员年工资 + 采矿人员年培训费) * 采矿人员数量

4.5.5 环境子系统

有色金属矿山企业生产过程中排放的固体废弃物比较多，如果尾砂、废石占用大量的土地，会带来一系列的效应，如尾砂坝会给矿区带来一定的安全隐患，而待复垦的土地会造成水土流失及自然环境的破坏。因此，实时监测矿山生产经营过程中的尾砂库的容量现状及废水废气等环境指标具有积极的意义。该系统将废水、废石、尾砂等设为流位变量，可清晰地反映出治理环境方面的费用。系统流图如图 4-5 所示。

模型基本方程式如下：

(1) 环境治理费用 = 单位复垦成本 * 复垦面积 + 尾矿库运营成本 + 废气减少量 * 废气单位处理成本 + 废水减少量 * 废水单位处理成本 + 废石减少量 * 废石单位处理成本；

(2) 未处理废水量 = INTEG (废水产生量 - 废水减少量, 未处理废水量初始值)；

(3) 未处理废石量 = INTEG (IF THEN ELSE (未处理废石量 < 废石场堆放量, 废石产生量 - 废石减少量, 废石场堆放量), 初始值)；

(4) 未处理尾砂量 = INTEG (IF THEN ELSE (未处理尾砂量 < 尾砂坝设计极限, 尾砂产生量 - 尾砂减少量, 尾砂坝设计极限), 初始值)

4.5.6 资产负债子系统

该子系统反映企业一定时期资产、负债、所有者权益的总体情

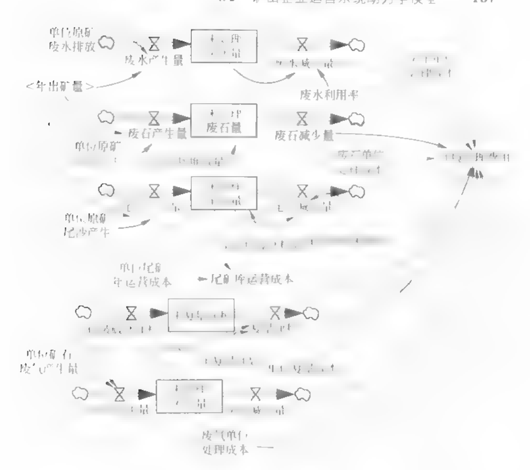


图4-5 环境子系统

是一种通过模拟分析企业的资产、负债、所有者权益的发展趋势。有色金属矿山企业的资产明细项目比较多，其中货币资金、固定资产和存货占的比重很大，主要体现在三个方面：一是各项生产性投资设备投资额比较大，占用的资本比较大；二是矿山企业远离城市和交通要道，地理位置偏，所以各种原燃材料、配件的库存量大、种类多；三是有色金属矿产品价格高，交易资本额高。资产子系统中按照会计原则并结合有色金属矿山企业自身的特点分别对库存材料、固定资产净值、货币现金、应收账款等进行预测。系统流图如图4-6所示。

模型基本方程式如下：

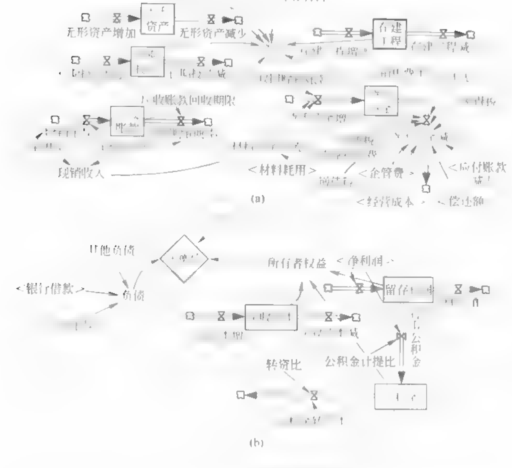


图4-6　资产负债子系统

(1) 资产 = 无形资产 + 货币现金 + 存货 + 应收账款 + 其他流动资产 + 在建工程 + 固定资产净值 + 长期投资;

(2) 负债 = 银行借款 + 应付账款 + 应付工资 + 其他流动负债;

(3) 所有者权益 = 公积金 + 实收资本 + 留存利润;

(4) 货币现金 = 货币现金增加 - 货币现金减少;

(5) 货币资金增加 = 材料资金回流 + 收回赊销账款 + 现销收入;

(6) 货币资金减少 = 偿还额 + 经营成本 + 利息 + 所得税 + 应付账款减少 + 偿还额 + 销售费用 + 资源补偿费 + 资源税 + 增值税;

(7) 应收账款 = INTEG (+ 赊销账款 - 收回赊销账款, 应收账

款初始值)；

(8) 赊销账款 = 赊销比例 * 销售收入；

(9) 现金收入 = 销售收入 * (1 - 赊销比例)；

(10) 收回赊销账款 = 应收账款/应收账款回收期限；

(11) 留存利润 = INTEG(净利润 - 提取公积金 - 股利分配，留存利润初始值)；

(12) 提取公积金 = 公积金计提比 * 净利润；

(13) 实收资本 = INTEG(+实收资本增 - 实收资本减，实收资本初始值)；

(14) 公积金转资本 = 公积金 * 转资比

4.5.7 固定资产子系统

矿山的固定资产项目较多，并且矿山企业的固定资产存在其特有的特征：一是大型、重型机械较多，设备有形磨损和无形磨损较大；二是生产性、辅助生产性建筑物多，因有色金属矿山特殊的地理位置，这些生产性建筑物随着矿山生命周期的衰退而价值大大降低，几乎没有回收利用的价值。本系统设置生产性用房净值、采矿机械净值、选矿机械净值、辅助生产性用房、累计折旧等流位变量，并且按不同的固定资产类别分类进行计算。系统流图如图4-7所示。

模型基本方程式如下：

(1) 折旧 = 采矿设备年折旧额 + 选矿设备年折旧额 + 年辅助生产性设施折旧 + 生产性建筑物年折旧 + 房屋建筑物折旧；

(2) 新增固定资产 = 新增采矿设备价值 + 新增房屋建筑物 + 新增生产性用房 + 新增选矿设备价值 + 新增辅助生产固定资产；

(3) 辅助生产性建筑物年折旧 = INTEG(新辅助生产性设施折旧 - 到期免提折旧额2，初始值)；

(4) 房屋建筑物净值 = INTEG(+新增房屋建筑物 - 房屋建筑物价值减少，初始值)；

(5) 固定资产净值 = 采矿设备净值 + 房屋建筑物净值 + 辅助生

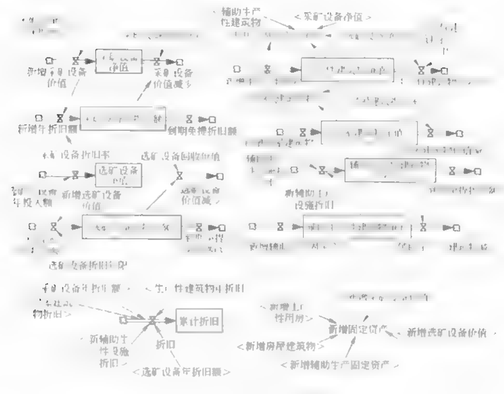


图 4-7　固定资产子系统

产性建筑物净值＋选矿设备净值＋生产性建筑物净值；

(6) 采矿设备净值＝INTEG（＋新增采矿设备价值－采矿设备价值减少，初始值）；

(7) 采矿设备年折旧额＝INTEG（＋新增年折旧额－到期免提折旧额，初始值）；

(8) 选矿设备净值＝INTEG（＋新增选矿设备价值－选矿设备价值减少，初始值）；

(9) 选矿设备年折旧额＝INTEG（＋新增选年折旧额－到期免提折旧额3，初始值）。

4.5.8　库存材料子系统

矿山企业的库存材料主要有劳保用品、选矿试剂、各种采选机

械配件等。为了满足连续生产的需要，矿山企业必须持有一定量的安全库存；同时，矿山企业特殊的地理位置，矿山企业的库存材料比一般企业的大。库存材料的变化受生产能力的影响。系统流图如图4-8所示。

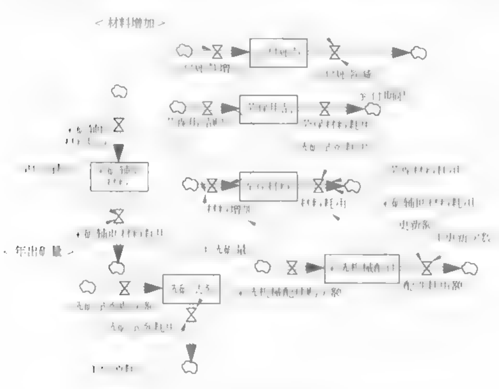


图4-8　库存材料子系统

模型基本方程式如下：

（1）应付账款＝INTEG（＋应付账款增加－应付账款减少，初始值）；

（2）应付账款减少＝应付账款/应付账款到付期限；

（3）库存材料＝INTEG（＋材料增加－材料耗用，初始值）；

（4）材料增加＝采矿辅助材料购买＋采选机械配件库存额＋劳保用品购买＋选矿试剂购买额；

（5）劳保用品＝INTEG（劳保用品购买－劳保材料耗用，初始值）；

（6）采矿辅助材料$_t$ = INTEG（采矿辅助材料购买－采矿辅助材料耗用，初始值）；

（7）采选机械配件 = INTEG（采选机械配件库存额－配件耗用额，初始值）；

（8）选矿试剂 = INTEG（选矿试剂购买额－选矿试剂耗用，初始值）；

（9）采矿辅助材料耗用＝单位消耗2＊年出矿量；

（10）选矿试剂耗用＝年选矿量＊单位消耗；

（11）配件耗用额＝更新额＊年更新次数

4.5.9　收入成本子系统

源于有色金属矿床特性，有色金属矿山产品多以一种或两种金属为主，综合回收多种金属为辅的产品结构形式，综合回收金属虽然含量低，但其产值有可能很大，有时和主元素价值相当甚至超过主元素产值。为简化模型，方便研究，系统中暂不考虑其他收入，因此，在收入成本子系统中考虑多种金属销售收入为变量。经营成本分为采矿成本、选矿成本、运输成本、探矿费用、安全成本等。系统流图如图4-9所示。

模型基本方程式如下：

（1）销售收入＝锌收入＋铜收入＋钼收入＋铋收入＋钨收入＋锡收入；

（2）钨收入＝钨金属＊钨销售价格/钨精矿品位；

（3）钼收入＝钼金属＊钼销售价格；

（4）经营成本＝采矿成本＋选矿成本＋运输成本＋探矿费用（Time）＋安全成本；

（5）采矿成本＝年出矿量＊（制造费用1＋吨原矿人工费用＋吨原矿耗燃料动力费用＋吨原矿耗辅材费用）＊成本波动因子；

（6）选矿成本＝年选矿量＊（制造费用2＋吨选矿人工费用＋吨选矿耗燃料动力费用＋吨选矿耗辅材费用）＊成本波动因子；

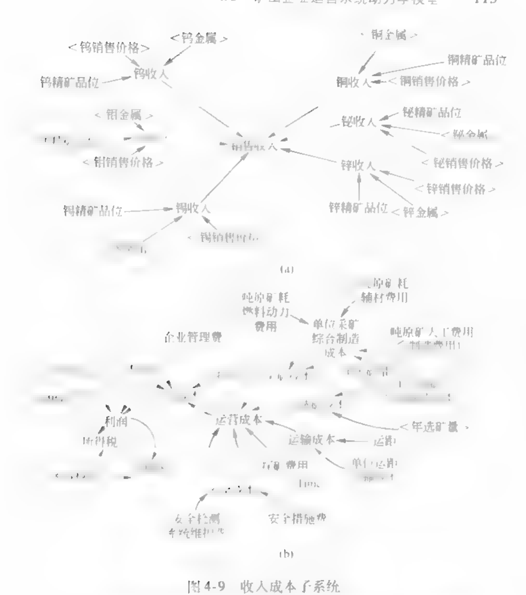


图4-9 收入成本子系统

(7) 总成本 = 经营成本 + 企管费 + 利息 + 折旧 + 销售费用；

(8) 利润 = 收入 - 总成本 - 增值税 - 资源税 - 资源补偿费；

(9) 收入 = 销售收入 + 其他收入；

(10) 所得税 = IF THEN ELSE (利润>0, 所得税率 * 利润, 0)

4.5.10 税收子系统

有色金属矿山企业的税收品种比较多，所占企业的比例也较大，

而且有其特殊性，如资源税、矿产补偿费等，因此单独立为一个子系统，特别是近年来，税收方面有比较大的改动，企业决策者通过本系统可以直观地看到上缴税收的情况。此子系统将应交税金设为流位变量。系统流图如图4-10所示。

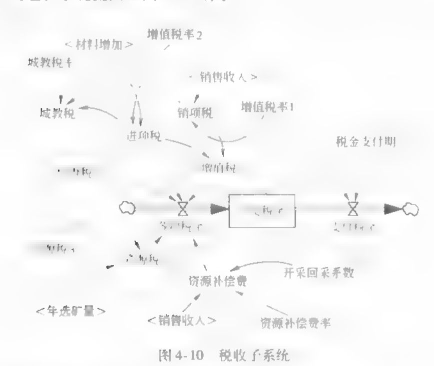


图4-10　税收子系统

模型基本方程式如下：

(1) 应交税金 = INTEG(各项税金 - 支付税金，初始值)；

(2) 各项税金 = 增值税 + 资源税 + 资源补偿费 + 所得税 + 城教税；

(3) 支付税金 = 应交税金/税金支付期；

(4) 资源补偿费 = 资源补偿费率 * 开采回采系数 * 销售收入；

(5) 资源税 = 年选矿量 * 资源税率；

(6) 城教税 = (销项税 - 进项税) * 城教税率；

(7) 进项税 = 材料增加 * 增值税率2/(1 + 增值税率2)；

(8) 销项税 = 销售收入 * 增值税率1/(1 + 增值税率1)

4.5.11 筹资子系统

有色金属矿山企业需要大量的资金来进行固定资产投资及日常的企业运转。筹资是企业进行一切活动的先决条件，不同筹资方式的选择，导致不同的资金成本和风险。筹资方式主要有：自筹资金、银行贷款、租赁、利用外资等。为简化模型，这里把企业的筹资简化为自我资金和银行借款两部分，根据企业的经营状况、投资计划来确定借入额，根据银行借款和借款利率来计算利息，根据银行借款和借款年限来计算每年的偿还额。系统流图如图4-11所示。

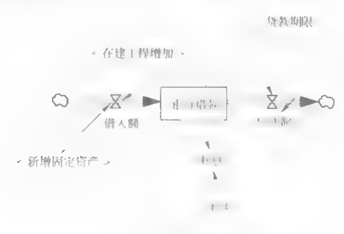


图4-11 筹资子系统

模型基本方程式如下：

(1) 银行借款 = INTEG (+借入额 - 偿还额, 银行借款初始值)；

(2) 偿还额 = 银行借款/贷款期限；

(3) 利息 = 银行借款 * 利率；

(4) 借入额 = 在建工程增加 + 新增固定资产

4.5.12 现金流量子系统

本系统设置累计净现金流量一个流位变量，反映企业在一个时

间点的现金存量情况，受现金流入和现金流出两个速率变量的影响。现金流入包括经营活动现金流入、投资活动现金流入、筹资活动现金流入等，现金流出包括经营活动现金流出、投资活动现金流出、筹资现金流出等。经营活动产生的现金流入项目主要有：销售商品、提供劳务收到的现金；经营活动产生的现金流出项目主要有：购买商品、接受劳务支付的现金，支付给职工以及为职工支付的现金，支付的各项税费，支付的其他与经营活动有关的现金；投资活动产生的现金流入项目主要有：收回投资所收到的现金，取得投资收益所收到的现金，处置固定资产、无形资产和其他长期资产所收回的现金净额；投资活动产生的现金流出项目主要有：购建固定资产、无形资产和其他长期资产所支付的现金，投资所支付的现金；筹资活动产生的现金流入项目主要有：吸收投资所收到的现金，取得借款所收到的现金；筹资活动产生的现金流出项目主要有：偿还债务所支付的现金，分配股利、利润或偿付利息所支付的现金。系统流图如图 4-12 所示。

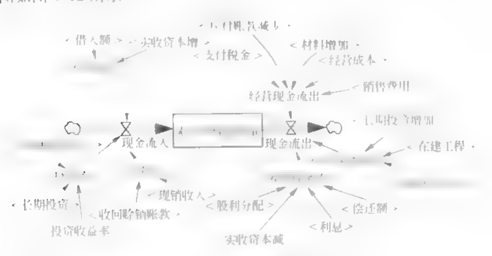


图 4-12　现金流量子系统

模型基本方程式如下：

1. 累计净现金流量 = INTEG（现金流入 − 现金流出，初始值）；

（2）现金流入 = 筹资流入 + 经营流入 + 投资流入；

（3）现金流出 = 筹资现金流出 + 经营现金流出 + 投资现金流出；

（4）筹资流入 = 借入额 + 实收资本增；

（5）投资流入 = 长期投资 × 投资收益率 + 新增固定资产；

（6）经营流入 = 收回赊销账款 + 现销收入；

（7）经营现金流出 = 材料增加 + 经营成本 + 应付账款减少 + 销售费用 + 支付税金；

（8）投资现金流出 = 长期投资增加 + 新增固定资产 + 在建工程；

（9）筹资现金流出 = 实收资本减 + 股利分配 + 偿还额 + 利息

5

有色金属矿山企业运营仿真应用案例
——以某钨矿山为例

5.1 样本企业简介

5.1.1 某钨矿企业概况

某钨矿是一座以钨为主的采矿、选矿国有矿山企业，隶属某大型钨业集团，是中国有色金属工业重点钨矿山之一。共辖有四个矿区，主要产品为黑钨精矿，曾连续两次荣获国家质量管理最高奖——银质奖。年矿石处理量50万吨，年产钨精矿2000t左右，铜、铋、钼、锌、锡、银等附产金属年产量500t。

该钨矿于20世纪50年代建矿，矿区开采已有80多年的历史。该钨矿现有在职人员1776人，其中在岗人员1222人，离退休人员1580人，抚恤人员988人，矿区自由人口近1.5万人。企业管理基础较好，技术力量较强，拥有各类高中级专业技术人员450人。矿山采选技术装备、劳动生产率、产品质量、资源综合回收利用以及安全生产管理和环保设施均居目前国内同类矿山先进水平。企业管理机构完备，管理制度健全，已逐步步入国内企业管理先进行列。

矿山将“高品质、低能耗、高效益”作为企业目标，以“内部挖潜、提高效益、重信守约、勤俭办矿”为办矿宗旨，以“奋发、创新、务实、和谐”为企业精神，力争节约能源、节约资源，为社会尽可能提供更多的高品质矿产品。

5.1.2 企业发展优劣势分析

（1）采选工艺成熟，选矿回收率、副产金属综合回收在同行业处于领先水平。企业发展受矿产储量限制，其中两个矿区资源日渐枯竭，但有深部资源潜力，主产金属品位降低，附产金属品位有所升高。

（2）建矿时间长，设备更新费用大，人员年龄结构不合理和矿山引进人才面临较大困难，可接替的新生力量薄弱。

（3）近年来产品价格波动强，较难预测。

（4）2009年1月1日起，增值税率的提高，使原有利润空间下降。

（5）资源环境约束力越来越大，企业投入的环境治理费用逐年递增。

5.2 模型基本模拟的假设及参数的估计

5.2.1 基本模拟的假设

在建立该钨矿企业运营仿真模型的过程中主要进行了以下几个方面系统性的假设：

（1）主要资金的变化不受其他业务和营业外收支的影响；

（2）企业为连续生产，不考虑生产过程中的特殊因素造成的停产，如因安全问题引起的停产整顿等；

（3）产品价格不考虑精矿品位波动的影响；

（4）生产能力一定；

（5）出矿品位、采矿损失率、选矿回收率稳定；

（6）没有从事短期投资业务和对外长期投资业务；

（7）对于年度内其他业务发生额和营业外收支额暂不考虑，相关数据以零计算；

（8）以2008年度资料为模拟初始值，模拟期间为2009年全

2014 年。

5.2.2 基本模拟参数的估计

建立了有色金属矿山运营企业系统动力学模型以后，在进行计算机仿真之前，需要确定模型中方程式的所有参数，这些参数包括常量、表函数、流位变量初值等。通过调查搜集所需的数据资料，利用专业知识，在往年的统计数据基础上，运用统计方法、预测技术、会计方法及其他数学方法对模型参数进行估计。有些参数的取值是根据对企业的调研的情况收集而来，有些参数是通过模拟实验法来确定的。由于有些数据涉及矿山的机密，故对部分参数进行了修改。

5.2.2.1 资产负债表及常量参数

2008 年 12 月 31 日资产负债表及常量参数见表 5-1 ~ 表 5-3。

表 5-1 2008 年资产负债表

项 目	2008 期末数
流动资产	
货币资金	48 675 220
短期投资	
应收账款	5 675 308
库存材料	1 975 403
其他流动资产	0
流动资产合计	56 325 930
长期投资	
在建工程	5 000 000
固定资产	
固定资产原价	74 369 250
减：累计折旧	22 525 580
固定资产净值	51 843 670

续表 5-1

[illegible]	2008 年末数
无形及其他资产	14 369 250
资产总计	125 695 200
流动负债	7 037 167
应付账款	1 524 783
应付工资	5 296 699
长期负债	32 156 840
负债合计	37 037 170
实收资本	42 368 420
留存利润	24 764 810
公积金	21 524 783
所有者权益合计	88 658 010
负债和所有者权益总计	125 695 200

表 5-2 主要常数参数取值表

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
钨最低工业品位	0.001 8	Dmnl	尾砂利用率	0.12	Dmnl
钨边界品位	0.002	Dmnl	废水利用率	0.6	Dmnl
采矿损失率	0.1	Dmnl	废石利用率	0.58	Dmnl
开采贫化率	0.38	Dmnl	采选设备折旧率	0.1	Dmnl
[illegible]	[illegible]	Dmnl	[illegible]	[illegible]	Dmnl
钨精矿品位	0.65	Dmnl	辅助生产建筑物折旧率	0.033	Dmnl
钨选矿回收率	0.84	Dmnl	生产性建筑物折旧率	0.033	Dmnl
尾砂利用率	0.12	Dmnl	维简费计提标准	15	元/吨
[illegible]	5	year	[illegible]	[illegible]	Dmnl
[illegible]	0.06	Dmnl	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	Dmnl	[illegible]	[illegible]	[illegible]
税金支付期	1	year	所得税率	0.25	Dmnl
转资比	0.25	Dmnl	公积金计提比例	0.15	Dmnl

表 5-3 初始年度人力资源状况表

年龄 人员	20—25	26—30	31—35	36—40	41—45	46—50	51—55	56—60	合计
经营管理人员	2	5	8	16	12	15	12	8	78
行政管理人员	5	13	19	10	15	13	12	15	102
财务管理人员	4	5	14	[illegible]	5	39	8	6	18
采矿人员	20	30	98	129	155	135	30	4	601
选矿人员	14	35	45	38	58	55	45	30	320
维修及技术人员	5	7	6	14	15	13	15	7	82

5.2.2.2 表函数

本模型中表函数较多，可有效地处理系统变量之间的非线性关系问题，它们在确定时主要依照以下原则：第一，根据有色金属矿山实际背景和获得数据的难易程度以及灵敏度、精确度的要求确定自变量变化范围及取值范围；第二，建立表函数时大致要考虑曲线的斜率与形状，一个或二个以上的特殊点供参考；第三，设置曲线的斜率，使之与其所表示的影响的性质相吻合，负值斜率代表负反馈，正值斜率代表正反馈；第四，选择曲线的形状，小心确定在极端条件下和曲线中部的斜率与曲率的值。曲线趋于平坦的部分对应于影响减弱与饱和的情况，而陡急升降的部分对应于影响与效应增强的情况。

（1）年生产计划。年生产计划是企业管理层根据市场的变化，结合企业当前状况决定的，直接对未来的经营状况产生影响。由于受全球金融危机的影响，2009年是各金属价格低迷期，市场复苏需要一个过程。生产计划为（0,0）—（10,600000），（0,500000），（1,400000），（2,450000），（3,460000），（4,480000），（5,500000），如图5-1所示。

（2）矿山探矿费用投资计划。随着生产的不断进行，勘探是企业获得更多资源及节约成本的有效控制手段，企业每年根据自身的财力状况合理地进行勘探费用的投资。勘探费用投资计划为（0,

0） （6，400000），（0，0），（1，100000），（2，120000），（3，150000），（4，160000），（5，280000），如图5-2所示

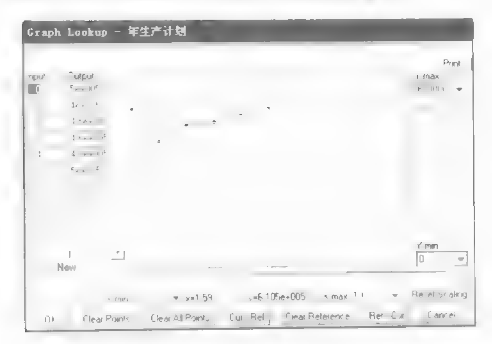


图5-1 年生产计划

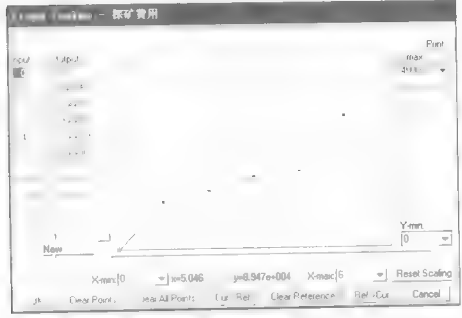


图5-2 勘探费用投资计划

(3) 其他各类表函数，比如新增经营人员岗位计划、随时间变化的年复垦计划、安全成本投入等。

5.3 模型的有效性检验

5.3.1 系统的边界检验

本模型中涉及的各种财务变量和非财务变量，从基本模拟产生的预计财务报表和预计财务指标可以看出，所研究的问题基本可以通过这些变量以及它们之间的相互关系体现出来，因此，可以认为所构造模型的边界与实际系统近似一致。

5.3.2 运行检验

从财务的角度出发来分析模型的结构是否合理，来检验其仿真运行结果是否有效，主要可以通过平衡值的变化来检验。其中，平衡值=资产-负债-所有者权益。根据检验结果模型运行的基本误差较小，如图5-3所示。由此可以得出结论：资产负债表的资产总

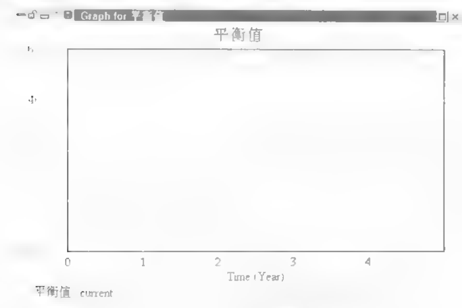


图5-3 平衡值检验

计等于负债与所有者权益总计、各类报表项目的数值具有合理性、模型与实际情况基本一致。

5.4 仿真结果分析

5.4.1 基本仿真运行结果

（1）基本模拟产生的资产负债表见表5-4。

表5-4 基本模拟产生的资产负债表

项目 \ 年份	2009	2010	2011	2012	2013
流动资产					
[illegible]	72 002 500	85 010 900	97 881 500	112 371 000	128 771 000
[illegible]	5 740 040	5 050 770	5 331 400	5 704 580	6 211 520
库存材料	2 070 400	2 165 400	2 260 400	2 355 400	2 450 400
[illegible]					
[illegible]	79 812 900	92 227 100	105 473 000	120 43[illegible] 000	137 433 000
[illegible]	5 000 000	5 000 000	5 000 000	5 000 000	5 000 000
固定资产					
[illegible]	66 252 900	75 779 100	87 147 400	100 709 000	113 481 000
[illegible]	2 945 000	4 693 280	6 983 720	9 896 [illegible]	13 526 100
[illegible]	63 307 900	71 085 800	80 163 700	90 812 000	99 954 400
[illegible]	14 369 400	14 369 500	14 369 700	14 369 800	14 369 900
资产总计	162 490 000	182 682 000	205 007 000	230 613 000	256 758 000
[illegible]	2 895 000	2 895 000	2 895 000	2 895 000	2 895 000
应付工资	5 512 380	5 512 380	5 512 380	5 512 380	5 512 380
[illegible]	30 253 000	33 728 700	38 351 400	44 242 500	48 165 900
负债合计	38 660 400	42 136 100	46 758 800	52 649 900	56 573 300
[illegible]	50 978 300	62 185 500	72 971 800	83 61[illegible] 900	94 757 700
[illegible]	44 833 500	51 520 100	58 600 700	66 486 900	75 375 300
[illegible]	28 017 900	26 840 700	26 725 300	27 864 400	30 051 300
所有者权益合计	123 830 000	140 546 000	158 248 000	177 963 000	200 184 000
负债和所有者权益总计	162 490 000	182 682 000	205 007 000	230 613 000	256 758 000

（2）基本模拟产生的损益表见表5-5。

表5-5　基本模拟产生的损益表

项目＼年份	2009	2010	2011	2012	2013
[illegible]	[illegible]	106 628 000	114 093 000	124 239 000	129 295 000
[illegible]	39 96[illegible] 600	41 263 700	44 267 400	47 241 600	49 346 300
[illegible]	21 959 300	23 180 000	24 811 300	[illegible] 135 000	28 126 800
[illegible]	39 094 200	41 684 600	45 014 200	49 462 300	[illegible]
加：其他业务利润					
[illegible]	13 545 800	[illegible] 106 200	[illegible] 895 500	[illegible] 984 200	14 144 600
[illegible]	3 26[illegible] 930	3 976 890	4 830 560	[illegible]	6 694 230
[illegible]	22 28[illegible] 600	23 601 500	26 288 100	29 636 400	30 982 700
加：投资收益					
补贴收入					
营业外收入					
减：营业外支出					
[illegible]	22 287 600	23 601 500	26 288 [illegible]	29 636 400	30 982 700
[illegible]	[illegible]	5 900 530	[illegible]	[illegible] 417 040	[illegible] 45 590
五、净利润	16 715 400	17 701 000	19 716 400	22 229 400	23 237 100

（3）基本模拟产生的现金流量表见表5-6

表5-6　基本模拟产生的现金流量表

项目＼年份	2009	2010	2011	2012	2013
一、经营活动产生的现金流量					
[illegible]	95 964 [illegible]	101 297 000	108 387 000	[illegible]	[illegible]
[illegible]	5 740 040	5 050 770	5 331 400	5 704 580	6 211 520
其他收入					
[illegible]	[illegible] 000	106 348 000	113 718 000	123 [illegible] 000	129 041 000
[illegible]	27 531 500	29 080 400	31 382 900	34 442 000	35 872 300

续表 5-6

项目 \ 年份	2009	2010	2011	2012	2013
经营成本现金流出	39 961 500	41 763 000	44 267 400	47 74[illegible] 600	49 346 200
工作[illegible]管理费用支出	13 545 000	14 106 100	13 895 400	13 984 200	14 144 500
现金流出小计	81 038 000	84 949 500	89 545 700	96 167 800	99 363 000
经营活动产生的现金流量净额	20 666 700	21 398 300	24 172 700	27 555 800	29 677 500
二、投资活动产生的现金流量					
投资所支付的现金					
固定资产购置现金流出	9 526 320	11 368 400	13 561 400	12 771 900	12 771 900
投资活动产生的现金流量净额	9 526 320	11 368 400	13 561 400	12 771 900	12 771 900
三、筹资活动产生的现金流量					
吸收投资现金流入	11 207 200	10 736 300	10 690 100	11 [illegible]45 800	[illegible]2 020 500
借款现金流入	9 526 320	11 368 400	13 561 400	12 771 900	12 771 900
现金流入小计	20 733 500	22 104 700	24 251 500	23 917 700	24 792 400
偿还债务现金流出	6 050 600	6 745 740	7 670 280	8 848 500	9 633 190
利润分配或支付利息现金流出	1 512 650	1 686 440	1 917 570	2 212 130	2 408 300
现金流出小计	[illegible] 563 250	8 432 180	9 587 850	11 060 600	12 041 500
筹资活动产生的现金流量净额	13 170 300	13 672 500	14 663 700	12 857 100	12 750 900

（4）环境治理模拟曲线　如图5-4所示，未处理废弃物明显减少，企业对环境治理的费用逐年加大，说明企业的经营理念逐渐转变，对环境保护日益重视

（5）有色金属矿山各类员工数量模拟　如图5-5所示，矿山员

变化中，管理人员数量变幅较小，采矿人员、选矿人员、维修人员变化明显，这与企业的规划基本相符。

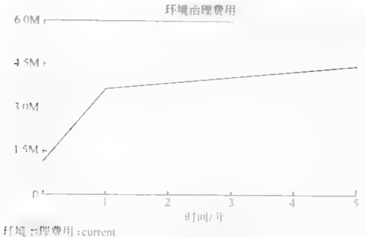


图 5-4　环境治理费用模拟图

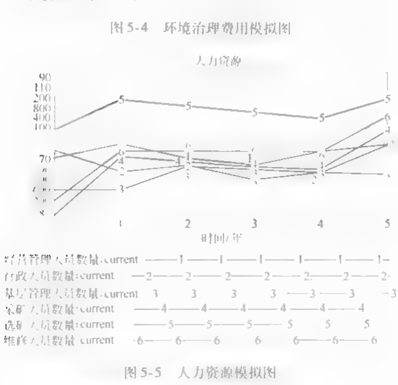


图 5-5　人力资源模拟图

（6）库存材料模拟如图 5-6 所示。

（7）各种金属产量模拟如图 5-7 所示。

（8）各金属价格模拟如图 5-8 所示。

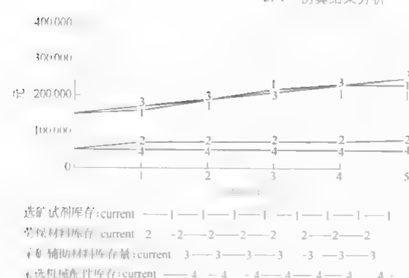


图 5-6　库存材料模拟图

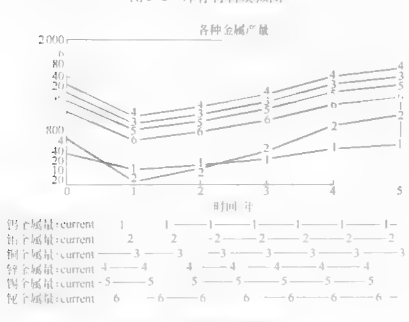


图 5-7　金属产量模拟图

5.4.2　模型的灵敏性分析

灵敏性分析就是改变模型中的参数、结构，运行模型，比较模型的输出，从而确定其影响的程度。一般地，灵敏性分析主要有两种：结构灵敏性分析和参数灵敏性分析。结构灵敏性分析，主要是

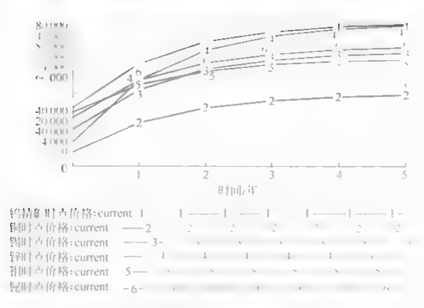


图 5-8　金属价格模拟图

研究模型中因果关系的变化对模型行为的影响。参数灵敏性分析，主要是研究模型行为对参数值在合理范围内变化的灵敏性，检查模型行为模式是否因为某些参数的微小变动而改变。本节主要针对储量参数值进行灵敏性分析。

1. 钨最低工业品位减少10%对储量变化的影响如图5-9所示。

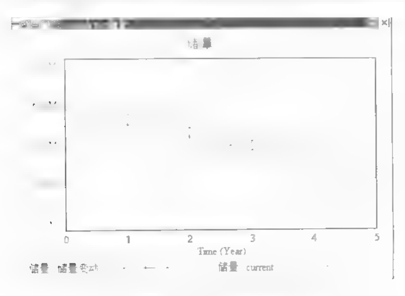


图 5-9　钨最低工业品位储量敏感性分析图

2. 分析模型的金属价格参数变化对该金属时点价格的影响。选择参数并假设这些参数在参数括号中的最小值和最大值之间随机分布，模型选择蒙特卡洛法进行模拟，价格参数 epsilon 对该金属时点价格的影响如图 5-10～图 5-15 所示，回弹速度λ对时点价格影响如图 5-16 所示。

1）epsilon = RANDOM_ NORMAL（-2，2，0，1）

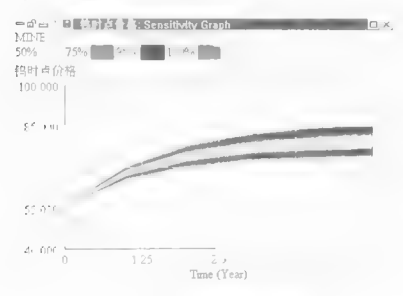


图 5-10　钨价格敏感性分析图

2）epsilon1 = RANDOM_ NORMAL（-2，2，0，1）

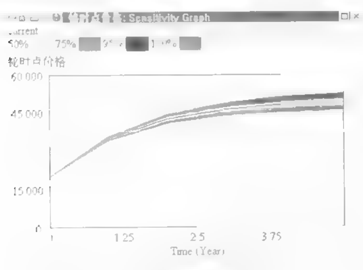


图 5-11　铋价格敏感性分析图

3）epsilon2 = RANDOM_ NORMAL（－2，2，0，1）

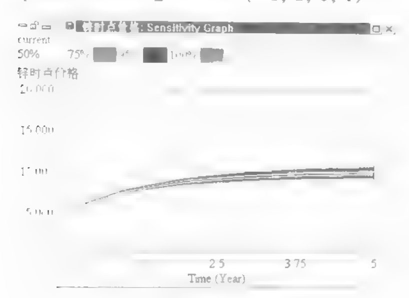


图 5-12　锌价格敏感性分析图

4）epsilon3 = RANDOM_ NORMAL（－2，2，0，1）

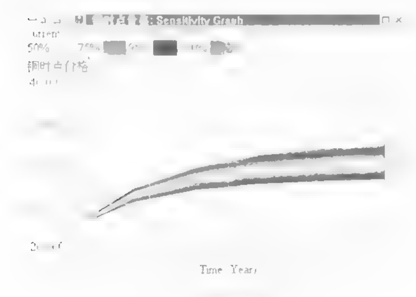


图 5-13　铜价格敏感性分析图

5）epsilon4 = RANDOM_ NORMAL（－2，2，0，1）

6）epsilon5 = RANDOM_ NORMAL（－2，2，0，1）。

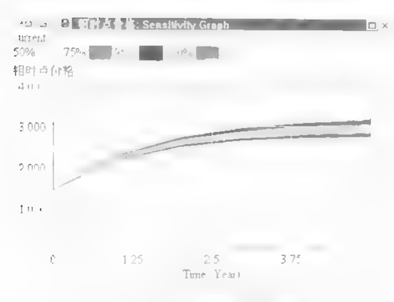


图 5-14 钼价格敏感性分析图

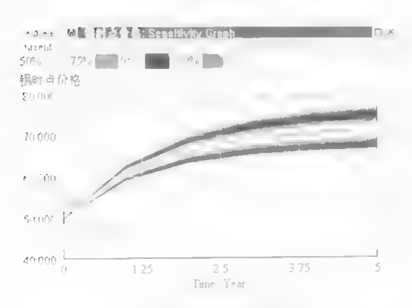


图 5-15 锡价格敏感性分析图

7) h = RANDOM_UNIFORM (0.4, 0.6)

3 分析各种金属价格随机参数同时变化对有色金属矿山净利润的影响。选择参数，假设这些参数在参数括号中的最小值和最大值之间随机分布，随机选择蒙特卡洛法进行模拟，价格参数对净利

润的影响如图 5-17 所示。

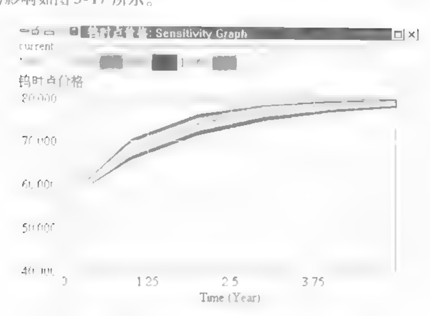


图 5-16　回弹速度对钨价格敏感性分析图

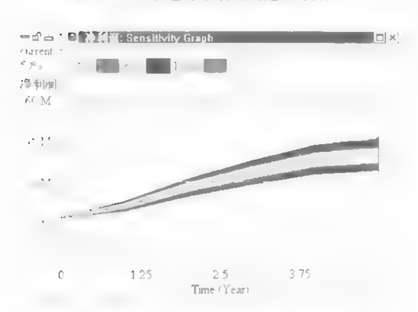


图 5-17　多种影响因素对净利润敏感性分析图

epsilon = RANDOM_ NORMAL （-2，2，0，1）

epsilon1 = RANDOM_ NORMAL （-2，2，0，1）

```
epsilon2 = RANDOM_ NORMAL ( -2, 2, 0, 1)
epsilon3 = RANDOM_ NORMAL ( -2, 2, 0, 1)
epsilon4 = RANDOM_ NORMAL ( -2, 2, 0, 1)
epsilon5 = RANDOM_ NORMAL ( -2, 2, 0, 1)
```

上图中不同百分比代表落在不同区间的置信水平，百分比越小，置信区间越窄，从而估计的准确度越好。

参考文献

[1] 钟光水，等. 系统动力学在国内外的发展历程与未来发展方向［J］. 河南科技大学学报（自然科学版），2006，27（4）：101～104.

[2] 谢英亮，等. 系统动力学在财务管理中的运用［M］. 北京：冶金工业出版社，2008.

[3] 谢英亮，等. 浅谈高校现金流管理中系统动态仿真模型的应用［J］. 财会通讯，2010（05）：57～59.

[4] 谢英亮，等. 高校现金流因果关系反馈分析探讨［J］. 财会通讯，2010（08）：64～65.

[5] 谢林海. 基于系统动力学的企业财务预测模型研究与应用［D］. 江西理工大学学位论文，2006.

[6] 谢英亮. 基于系统动力学的大型企业人力资源规划［J］. 改革与战略，2007.

[7] 谢英亮，等. 系统动力学在建设项目财务评价中的运用［M］. 北京：冶金工业出版社，2010.

[8] 王其藩. 系统动力学［M］. 北京：清华大学出版社，1994.

[9] 陈明忠. 水资源评价理论与方法［D］. 南京：河海大学，2005.

[10] 彼得·圣吉（Peter M. Senge）. 第五项修炼——学习型组织的艺术与实务［M］. 郭进隆译. 上海：上海三联书店，1994.

[11] 宋福根. 现代企业决策支持系统原理与仿真［M］. 北京：科学出版社，2005.

[12] 刘少成. 放松管制，加速发展——谈中国民航放松管制政策的发展历程与作用［J］. 国际航空，2005（11）：17.

[13] 张莉. 民航运输业的价格管制与放松管制［J］. 中国科技信息，2005，21：113～123.

[14] 杨惧. 中国低成本航空浅析［J］. 国际航空，2005：20～21.

[15] 彭聚珍. 国内航空公司战略纵横谈［J］. 中国民用航空，2004，40：40～41.

[16] 荣朝和. 关于运输业规模经济和范围经济问题的探讨［J］. 中国铁道科学，2001（4）：25.

[17] 刘少成，郑兴无，颜明池. 中国民航企业竞争力研究（三）［J］. 中国民用航空，2005，（5）：16～20.

[18] 孙庚. 网络型航空公司与低成本航空公司运营模式比较［J］. 中国民用航空，2005，（04）：20～35.

[19] 乐卫松. 航空客运营销实务［M］. 北京：东方出版中心，2000：63～128.

[20] 于玺强. 民用飞机直接运营成本分析与建模［J］. 中国民用航空，2001

(5)：86 ~ 132.

[21] 黎群．论航空公司的战略联盟［M］．北京：经济科学出版社，2003：101 ~ 107.

[22] 肖殷洪．航空公司收益管理［D］．北京：北京航空航天大学，2002.

[23] 刘军．航空客运收益管理与风险决策理论及其应用研究［D］．北京：北京航空航天大学，2000.

[24] 彭杰．中国民航客运应用收益管理的条件及策略［J］．北京航空航天大学学报（社会科学版），2002（6）：120 ~ 153.

[25] 樊玮，陈增强，袁著祉．基于遗传算法的座位优化控制模型［J］．数学的实践与认识，2004（2）：98 ~ 113.

[26] 郭廷友．民航运输业呼唤竞争——走出民航运输企业收益管理的误区［J］．山东经济，2005（5）：62 ~ 64.

[27] 耿淑香．航空公司运营管理方略［M］．北京：中国民航出版社，2000.

[28] 刘军，邱莞华．航空客运收益管理的结构模型［J］．北京航空航天大学学报（社会科学版），2000（4）：79 ~ 133.

[29] Robin Cooper，Robert S. Kaplan. Implementing Activity - Based Cost Management：Moving from Analysis to Action［M］．Inst of Management Accountants，1993.

[30] Jack Hirshleifer，John G. riley. The Analysis of Uncertainty and Information［M］．Cambridge University press，1992：28 ~ 35.

[31] 秦德先，刘春学．矿产资源经济学［M］．北京：科学出版社，2002.

[32] 陈建宏，古德生．矿产资源经济学［M］．长沙：中南大学出版社，2007.

[33] 孙玉峰．矿区经济系统动力学仿真模型研究［J］．石家庄经济学院学报，2006（2）．

[34] 杨辉艳，庞保成．我国有色金属矿产资源综合的利用状况分析及对策［J］．资源环境与可持续发展论坛，2007（2）：263 ~ 265.

[35] 张惠丽，郭进平．中国铁矿石需求预测系统动力学模型研究［J］．金属矿山，2006（2）：22 ~ 25.

[36] 冯锡文．矿井潜在生产能力预测的动力学模型［J］．矿业研究与开发，1999（3）：1 ~ 3.

[37] 李兴国．中国新型矿业税费金结构及计量模型的初步研究［D］．中国地质大学博士论文，2008.

[38] 林启太．系统动力学在矿产品产销前景分析中的应用［J］中国矿业，1999（8）：24 ~ 26.

[39] 关凤峻，王永生．循环经济———资源开发与环境保护协调发展的重要途径［J］．中国国土资源经济，2004（1）：4 ~ 6.

[40] 赵武壮，曹宝奎，王藩．坚持科学发展观，促进有色金属工业发展［J］．有色金属工业，2004（5）：21～24.

[41] 谢英亮．运用平均回弹过程模拟评估项目的风险［J］．中国钨业，2001(03)：11～13.

[42] 魏永明．矿山企业可持续发展对策研究［D］．武汉科技大学硕士论文，2002.

[43] 屈利纯．有色金属矿山转变经济发展方式的途径探讨［J］．湖南有色金属，2008（3）：64～66.

[44] 何井来．矿山企业建设财务管理信息系统初探［J］．冶金财会，2006（4）：27～28.